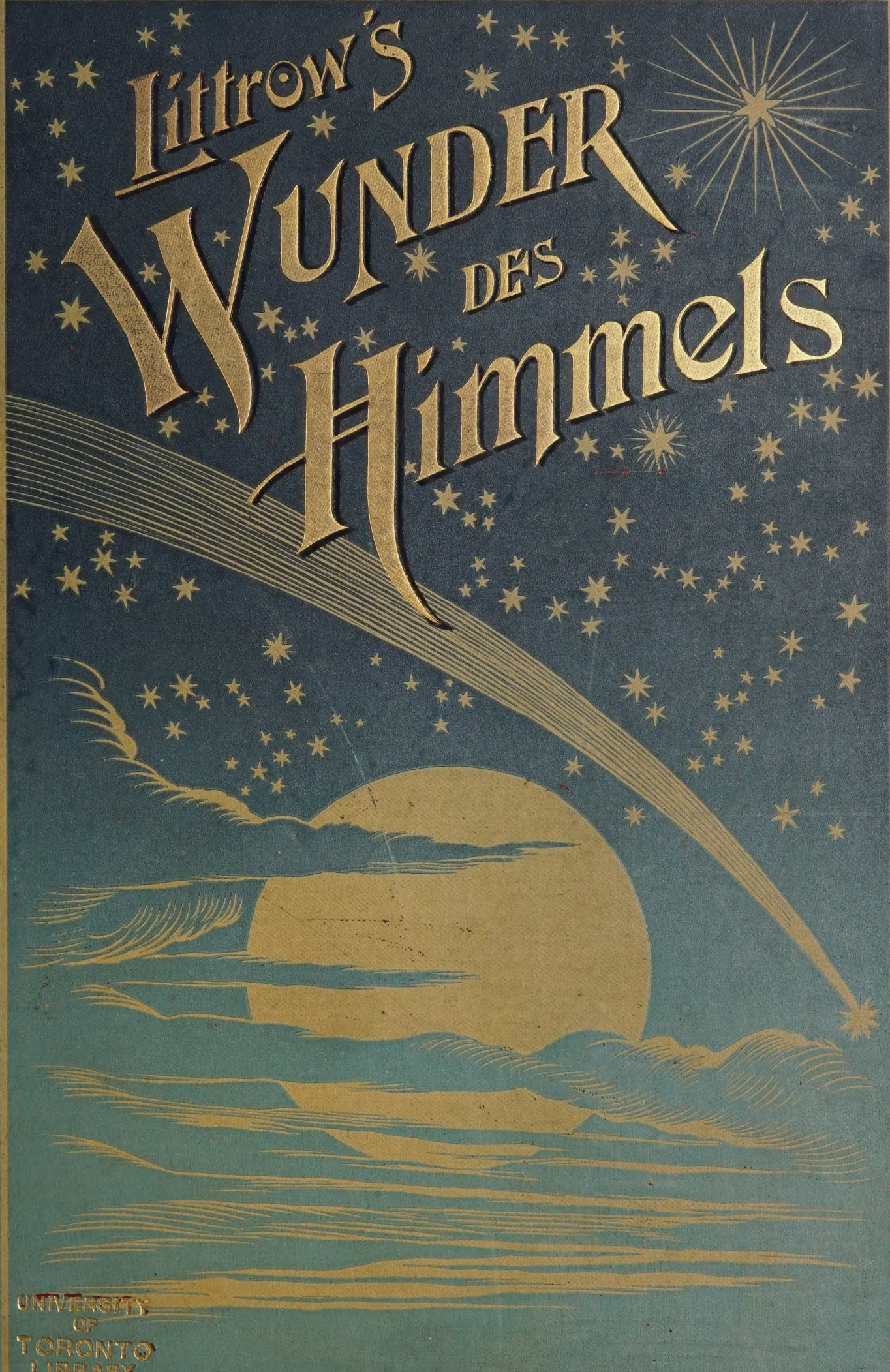
Littrow's Wunder des Himmels



UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY

16—
7—

Astron
L.

Joseph Johann von Littrow,

Wunder des Himmels

oder

Gemeinfaßliche Darstellung

des Weltsystems.

Achte Auflage.

Nach den neuesten Fortschritten der Wissenschaft bearbeitet

von

Dr. Edmund Weiß,
Direktor der Sternwarte und Professor der Astronomie
an der k. k. Universität zu Wien.

Mit 14 lithographierten Tafeln und 155 Holzschnitt-Illustrationen.

222095
13. 4. 28

Berlin 1897.

Ferd. Dümmlers Verlagsbuchhandlung.

Das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen ist vorbehalten.

Germany

Vorrede zur achten Auflage.

Die überaus raschen Fortschritte in der Astronomie, welche wir in dem Decennium zu verzeichnen haben, das seit dem Erscheinen der letzten Auflage der „Wunder des Himmels“ verstrichen, erforderten einschneidende Umarbeitungen nicht nur einzelner Kapitel sondern auch ganzer Abteilungen des Werkes, um es wieder auf das Niveau des jetzigen Zustandes der Wissenschaft zu heben. Denn außer den vielen, oft nicht unbedeutenden Änderungen, welche in jedem Abschnitte der zweiten Abteilung vorzunehmen waren, machten die epochemachenden Entdeckungen der großen auf der Oberfläche des Mars vor sich gehenden Umwälzungen, die bereits auf mehr als 400 angewachsene Zahl der Asteroiden, die Auffindung einer Reihe merkwürdiger, hochinteressanter Kometen, und die wichtigen Errungenschaften, welche wir der Photographie und Spektroskopie in der Erkenntnis des Fixsternhimmels verdanken, eine durchgreifende Umarbeitung der betreffenden Partien des Werkes nötig. Außerdem mußten die erste und dritte Abteilung vollständig umgearbeitet, und in ihren minder wesentlichen, nachgerade teilweise auch schon veralteten Partien erheblich gekürzt werden, um für die reiche Fülle unserer neu gewonnenen Kenntnisse Raum zu gewinnen, ohne den ohnehin sehr bedeutenden Umfang des Buches noch weiter zu vergrößern. Da ich nun in der früheren Auflage bereits die vierte Abteilung einer Neubearbeitung unterzogen hatte, darf ich mir wohl schmeicheln, daß kaum mehr eine Seite zu finden sein dürfte, welche unter meiner Redaktion nicht mehr oder weniger wichtige Veränderungen aufzuweisen hätte.

In der tabellarischen Zusammenstellung der Bahnelemente der Planeten, Satelliten und Kometen unseres Sonnensystems habe ich, um ihre Brauchbarkeit zu erhöhen, in mehrfacher Beziehung Änderungen angebracht, die viel Mühe und Zeitaufwand erforderten. So habe ich unter Anderem bei den Planeten als Epoche die Zeit des letzten Perihelduchganges in unserem Jahrhundert angeführt, weil diese Angabe, zusammengehalten mit der Umlaufszeit des Gestirns, die Stellung desselben in seiner Bahn, namentlich für einen Laien viel leichter und übersichtlicher erkennen läßt, als die allgemein übliche Angabe der mittleren Länge zu einem bestimmten Momente. Bei den Kometen habe ich den Bahnelementen auch den Tag der Entdeckung und die Dauer der Sichtbarkeit beigefügt, um sofort mit einem Blicke übersehen zu können, in welchem Bogen seiner Bahn er beobachtet wurde, weil dies zur Beurteilung der Sicherheit der Bahnbestimmung von wesentlicher Bedeutung ist. Ferner habe ich, um die Übersicht der neu entdeckten Gestirne dieser Art durch die bereits sehr zahlreichen Rückkehren periodischer Kometen nicht allzusehr zu zerschneiden, die Elemente der periodischen, bereits in mehreren Perihelpassagen beobachteten Kometen bloß in ihrer ersten Erscheinung dem Hauptverzeichnisse eingereiht, u. s. w.

Der „Atlas des gestirnten Himmels“, der von jeher ein treuer Begleiter der Wunder des Himmels war, und 1886 in vierter Auflage erschien, hat durch die jetzige Ausgabe des erst genannten Werkes seinen Zusammhang mit demselben nicht verloren.

Bei einem Werke, welches sich wie das vorliegende mehrere Menschenalter hindurch den unbestrittenen Beifall der Lesewelt zu erhalten wußte, gewinnt man durch die Vergleichung seiner verschiedenen Auflagen ein anschauliches Bild über die Wandlungen, welche im Laufe dieses Zeitraumes durch das Auftauchen neuer Fragen und Gesichtspunkte, sowie durch das Einführen neuer Forschungsmethoden in der Wissenschaft hervorgerufen wurden. Es dürfte daher ein allgemeineres Interesse darbieten, dies hier in kurzen Zügen darzulegen und dabei auch nachzuweisen, in wie

weit der Plan des ursprünglichen Verfassers J. J. v. Littrow trotz aller Umänderungen, die das Werk seither erfahren, erhalten blieb. Diesen Zweck glauben wir am besten durch Reproduktion der einschlägigen Stellen aus den Vorreden zu den einzelnen Auflagen erfüllen zu können.

Als eine Eigentümlichkeit des Werkes, die es von allen gemeinfaßlichen Schriften über Astronomie unterscheidet und ihm ein besonderes Gepräge aufdrückt, bezeichnet J. J. v. Littrow das Zerfallen desselben in zwei, nicht bloß ihrem Inhalte, sondern auch ihrer Darstellung nach wesentlich verschiedene Teile, und sagt in Bezug darauf: „der erste Teil (d. h. die erste Abteilung des Werkes) ist nämlich, ohne sich von dem beiden gemeinschaftlichen Hauptzwecke der Gemeinfaßlichkeit zu entfernen, vorzugsweise mehr didaktischer Art, und der andere, auf den jener gleichsam vorbereiten soll, ist, wenn ich das Wort hier brauchen darf, auf Unterhaltung berechnet, auf Unterhaltung höherer Art meine ich, an der nur die eigentlich Unterhaltsamen, aber diese, wie ich wünsche und hoffe, gern und willig Teil nehmen werden. Sie werden, ich glaube es mit einiger Zuversicht auf den Stoff, wenn auch nicht auf die Behandlung desselben, sagen zu können, für die kleine Mühe, welche ihnen der erste Teil verursachen könnte, durch den zweiten (d. h. die zweite bis vierte Abteilung) reichlich entschädigt werden".

Die klare jedermann verständliche Weise, in welcher in dem Werke selbst die schwierigsten und verwickeltsten Gegenstände vorgetragen wurden, verbunden mit einer gewählten poetischen Sprache, verschafften dem Werke gleich bei seinem Erscheinen einen so großen Leserkreis, daß der ersten Auflage sofort eine zweite folgen mußte, und der Verfasser auch noch die Freude erlebte, kurz vor seinem Tode eine dritte veranstalten zu können.

Nach dem Tode von J. J. v. Littrow ging die Bearbeitung des Werkes an dessen würdigen Sohn K. v. Littrow über, der es in hervorragendem Grade verstand, nicht nur dem Buche alle Vorzüge zu erhalten, die es nach und nach zu einem Lieblinge des deutschen Volkes gemacht, sondern auch mit sachkundiger Hand alle jene Veränderungen und Umgestaltungen daran vorzunehmen, welche der Fortschritt der Wissenschaft bedingt. In dieser Beziehung fand K. v. Littrow schon bei der ersten von ihm besorgten Auflage (1853) ein weites Feld für seine Thätigkeit vor, wie aus dem nachstehenden Passus seiner Vorrede zu derselben erhellt.

. . . „es hat wohl in der Geschichte der Astronomie noch kein Decennium gegeben, das an wichtigen und völlig feststehenden Entdeckungen sowie überhaupt Erweiterungen der Wissenschaft sich dem Zeitraume an die Seite stellen ließe, der seit der letzten Auflage der vorliegenden Schrift abgelaufen ist. Wir haben in dieser Periode über 20 neue Planeten, 4 bis dahin unbekannte Satelliten, mehr als 30 Kometen kennen gelernt, und die meisten dieser Entdeckungen waren von Verhältnissen begleitet, welche ihren Wert für die Förderung menschlichen Wissens nicht wenig erhöhen. Ebenso reiche Aufschlüsse sind uns während derselben Epoche in der Fixsternwelt zu teil geworden. Der südliche Himmel, dessen Herrlichkeit uns vor Kurzem kaum mehr als aus flüchtigen Reiseberichten bekannt war, liegt jetzt mit allen seinen Einzelnheiten vor unserem erstaunten Auge offen aufgerollt. Die Zahl der Sonnen, deren Entfernung man bestimmt hat und die so der Unendlichkeit des Raumes gleichsam abgerungen worden, mehrt sich mit jedem Jahre. Auch bei diesen Gestirnen wie bei Neptun ist es der Rechnung gelungen, uns durch ein geistiges Auge Himmelskörper zu zeigen, die sich unserer sinnlichen Wahrnehmung bisher entzogen. Großartige Durchmusterungen des Firmamentes haben uns eine Übersicht der Fixsternwelt verschafft, wie sie noch vor wenigen Jahren unter die frommen Wünsche gezählt werden mußte. Mehrere totale Finsternisse der Sonne haben uns eine Atmosphäre dieses Centralkörpers unseres Planetensystemes erkennen lassen.

Neue Instrumente sind erfunden, neue Experimente erdacht und dadurch wichtige Forschungen in Jedermanns Bereich gebracht worden u. s. w."

Nicht minder rasch wie in dem eben genannten Zeitraum erweiterten sich unsere Kenntnisse in der Astronomie auch in jenem, der bis zum Erscheinen der nächsten Ausgabe des Werkes verstrich. Die wichtigsten Errungenschaften während dieser Periode charakterisiert K. v. Littrow (1865) wie folgt:

„Wenn ich im Vorworte zur vierten Auflage den Zeitabschnitt zwischen dieser und der vorhergehenden Ausgabe als überreich an Erweiterungen der Wissenschaft bezeichnen konnte, so gilt solches in gleichem Maße von der Epoche zwischen der vorletzten und der gegenwärtigen Ausgabe. Die Zahl der Hauptplaneten, welche damals drei Dutzende kaum erreichte, hat sich seitdem nahe zum vollen Hundert erhoben und veranlaßte zu lehrreichen Rückblicken über die Art, wie diese Entdeckungen gelangen, so wie zu interessanten Schlüssen über Verteilung der Bahnen, über Wahrscheinlichkeit weiterer Funde ꝛc. Von Kometen hatten wir in demselben Zeitraume mehrere prächtige Erscheinungen, die mit den mächtigen Mitteln der heutigen Optik unerwartete Einblicke in die Natur dieser rätselhaften Körper eröffneten. Unsere Ansichten über die physische Beschaffenheit der Sonne erlitten durch die Spektralanalyse, durch Einführung der Prinzipien von der Erhaltung und Vicarirung der Kräfte, durch genaue Erforschung der Flecken und ihrer Bewegungen, der Wärmestrahlung des Sonnenkörpers, der merkwürdigen Phänomene bei totalen Finsternissen eine gänzliche Umbildung. Frühere Vermutungen von Planeten, die der Sonne näher stünden als Merkur, dürfen nach neueren Wahrnehmungen nicht mehr wie bisher kurz von der Hand gewiesen werden. In betreff der wahrscheinlichen Anzahl von Fixsternen waren wir noch vor kurzem auf vage Hypothesen beschränkt, an deren Stelle nun umfassende, zu weiteren Schlüssen sichere Grundlagen bietende Zählungen treten. Unsere Kenntnisse über die relative Helligkeit dieser Gestirne, sowie über Doppelsterne und Veränderliche haben wesentliche Ergänzungen erhalten; über die Natur der Nebelflecke sind uns wichtige Aufschlüsse zu teil geworden u. s. w. Solche hier wie im Vorworte zur vierten Auflage nur eben angedeutete riesige Fortschritte der Wissenschaft führten zu so durchgreifenden Umarbeitungen, daß das Buch nachgerade mir auch als geistigen Mitarbeiter wert werden darf."

Während des Druckes dieser Auflage entriß der Tod K. v. Littrow seinen ältesten Sohn, wodurch sein sonst so glückliches Familienleben jahrelang durch trübe Schatten verdüstert wurde. Wie schwer er diesen herben Schicksalsschlag empfand, klingt in ergreifender Weise aus den schwermütigen Worten am Schlusse der Vorrede hervor:

„Als ich die vierte Auflage dieses Werkes redigierte, galt mir die lange, mühevolle Arbeit als ein Blütenkranz, den ich auf das Grab meines unvergeßlichen Vaters niederlegte; heute schreibe ich diese Worte an dem ersten Jahrestage des Todes meines geliebten Sohnes Otto, der 21 Jahre lang — der 14. Februar 1843 hatte mir ihn geschenkt — mein einziger Stolz, meine ungetrübteste Freude war. Ein unerbittliches Geschick riß ihn, an dem ich alles, was ich in der Wissenschaft und im Leben erfahren, mit dem schönsten Erfolge verwertet hatte, in der vollen geistigen und körperlichen Kraft der Jugend von meinem Herzen, auf daß es nie wieder vernarbe. Wir waren einander nicht bloß Vater und Sohn, wir waren Freunde, Gesinnungs- und Arbeitsgenossen; wie ich in seinen ersten Leistungen ihm zu Hilfe war, so fing er jetzt an, mir beizustehen: der physikalische Teil des hier in völliger Umgestaltung erscheinenden Kapitels „Die Sonne" rührt aus seiner Feder, die in zwei selbständigen Arbeiten, „Über eine neue Einrichtung des Spektralapparates" und „Über einen Heliostaten nach Augusts Prinzip" sich bereits mit Glück versucht

hatte. Es erhob mich damals der Gedanke, daß so die dritte Generation eintrat für die Fortbildung eines Werkes, das von seinem Ursprunge an zu den Lieblingen der deutschen Lesewelt zählte. Aber dieses freudige Bewußtsein sollte mir nur zu teil werden, um meinen Schmerz zu schärfen, um mir in jenem Beitrage der lieben Hand fortan ein Denkmal des unersetzlichen Verlustes zu zeigen!"

Ein noch schwererer Schicksalsschlag traf die Familie v. Littrows während des Druckes der sechsten Auflage des Werkes, deren Beendigung zu erleben K. v. Littrow nicht mehr vergönnt war. Er starb nach langem schweren Leiden am Morgen des 16. November 1877 in Venedig, nachdem er die Mußestunden seiner letzten Lebensjahre ausschließlich der Bearbeitung der neuen Auflage der „Wunder" gewidmet hatte. Über die zahlreichen Umänderungen, die er wieder an dieser Ausgabe anzubringen hatte, giebt der Entwurf der Vorrede Rechenschaft, die er beim Beginne des Druckes schrieb. Die diesbezüglichen Stellen derselben lauten:

„Das Grundmaß des Planetensystemes, die Entfernung der Erde von der Sonne, galt noch vor wenigen Jahren für definitiv festgestellt .... Neuere Untersuchungen haben indeß auf ganz verschiedenen Wegen das Resultat geliefert, daß die seither angenommene Zahl um nicht weniger als ihren dreißigsten Teil zu verbessern sei, und wir der Sonne gegen 700 000 g. M. näher stehen, als wir bisher geglaubt haben .... Mit jener Basis der Ausmessung unseres Sonnensystems ändert sich aber eine solche Unzahl astronomischer Daten, daß das vorliegende Buch beinahe in allen seinen Teilen davon berührt wird, und damit allein eine neue Ausgabe mehr als hinreichend motiviert wäre.

Die bisher wenig beachtete, und mit Unrecht oft mehr als schönes Schauspiel denn als Objekt strenger Forschung geltende Erscheinung der Sternschnuppen hat neuerlich durch den Nachweis des bis dahin nur eben vermuteten engen Zusammenhanges zwischen diesen Phänomenen und den Kometen eine Bedeutung gewonnen, die ihr fortan die volle Aufmerksamkeit der Astronomen zukehren muß: denn damit wurde nicht nur in Bezug auf jene Meteore ein völlig neues Feld der Untersuchung geschaffen, sondern zugleich vielfach Licht über die rätselhafte Stellung der Kometen im Weltall verbreitet, und wie mit jeder wichtigen Entdeckung auch hier eine belebende Verbindung zwischen bisher ganz isolierten Thatsachen hergestellt. Wir hatten so unserem Werke ein durchaus neues Kapitel einzuschalten und wieder dessen vielfachen Einfluß auf früher darin Vorgetragenes zu berücksichtigen.

Die Spectralanalyse, obschon eigentlich physikalischem Boden angehörig, hat seit der letzten Auflage unseres Buches, in welcher wir nur eben die ersten astronomischen Ergebnisse aus dieser Quelle mitzuteilen hatten, der Sternkunde überraschende Dienste geleistet. Bei Gelegenheit der totalen Sonnenfinsterniß des Jahres 1868 wurde auf diesem Wege die Möglichkeit erkannt, die merkwürdigen Erscheinungen am Rande unseres Centralkörpers, deren Sichtbarkeit sich bis dahin auf die wenigen Minuten, der Dauer der totalen Finsternisse beschränkte, jederzeit wahrzunehmen, womit wichtige Aufschlüsse über die physische Beschaffenheit der Sonne angebahnt waren. In ihrer Anwendung auf die äußeren Planeten machte die Spectralanalyse wahrscheinlich, daß dieselben sich noch in einem hohen Hitzegrade befinden, während sie bei den Kometen zu vielversprechenden Anfängen näherer Erforschung von deren Natur führte. Ebenso bedeutende Erweiterungen verdanken wir dieser Zerlegung des Lichtes in unserer Kenntnis der Fixsternwelt, wo insbesondere über das Wesen der sogenannten neuen Sterne unerwartete Aufklärungen gewonnen und das Vorhandensein wirklicher Nebelmassen außer Frage gestellt wurde. Auch hier also hatte unser Werk zum Teil völlig Neues aufzunehmen, zum Teil früher ausgesprochene Ansichten wesentlich zu verbessern.

Neben solchen durchgreifenden Fortschritten treten gleichsam von selbst sich

ergebende Entwickelungen einzelner Zweige der Sternkunde, so bedeutend dieselben an sich auch sind und so umfassende Zusätze sie auch bewirken, beinahe in den Hintergrund. Wenn im Jahre 1845 das Auffinden eines neuen Planeten zwischen Mars und Jupiter nach einer Pause von vier Decennien großes Aufsehen machte, so ist heute, da jedes Jahr uns einige dieser Himmelskörper mehr kennen lehrt und wir nachgerade die Überzeugung gewonnen haben, daß solche Entdeckungen sich noch geraume Zeit in gleichem Maße fortsetzen werden, die Aufführung von nahezu doppelt so vielen Asteroiden, als wir in der fünften Auflage zu nennen hatten, eben nur ein Postulat der Vollständigkeit, das keinen neuen Standpunkt eröffnet. Dasselbe gilt von der bedeutenden Vermehrung der veränderlichen Sterne und der genaueren Bestimmung der Periode des Lichtwechsels der meisten von ihnen, sowie von der großen Zahl der Doppelsternbahnen, die in der letzten Zeit berechnet wurden. Ebenso ist uns heute die eigentliche Bestimmung der Entfernung von Fixsternen, welche wir noch vor etwa 30 Jahren, als für unsere Sinne unangebbar, annehmen mußten, nicht mehr neu, und wir haben eben nur den erstaunlichen Fortschritt in der Sicherheit und Genauigkeit dieser Messungen zu bewundern. In gleicher Weise sind die beiläufig 20 neuen Kometen, welche uns der hier in Frage stehende Zeitraum gebracht hat, ebenso ein Beweis für die Verbreitung guter Fernrohre überhaupt, als die Erforschung des physischen Details dieser Gestirne für den Einfluß zeugt, den der Aufschwung der heutigen Industrie auch hier geübt: Werkzeuge, die vor 10 Jahren noch das Monopol eines Herschel oder eines Rosse waren, sind gegenwärtig nicht bloß an öffentlichen Anstalten, sondern auch in den Händen von Privatastronomen mehrfach zu finden."

Als der Tod K. v. Littrow ereilte, war das Manuskript in den Händen des Verlegers und der Druck der IV. Abteilung hatte soeben begonnen. Die Korrektur des Restes derselben besorgte Dr. Arthur v. Littrow, dem sein Vater wegen zunehmender Schwäche bereits die Korrektur einiger vorhergehenden Bogen übertragen hatte. Der soeben auszugsweise mitgeteilten Vorrede seines Vaters fügte A. v. Littrow folgende Worte bei.

„Am 7. November 1865 betrat ich zufällig das Arbeitszimmer meines Vaters. Als er aufblickte, sah ich, daß sein Auge feucht war, und erfuhr später, daß er eben das Ende der Vorrede zur fünften Auflage, die Erinnerung an meinen verstorbenen Bruder geschrieben hatte. Heute ist die Reihe an mir, einem teueren Dahingeschiedenen ein Wort nachzurufen.

Seinen Wert als Mann der Wissenschaft weiß wohl Jeder, der ihr als Gelehrter oder als Laie angehört, nach seinen Werken zu beurteilen; aber welche unbeugsame Ehrenhaftigkeit hier mit Geradheit und Herzensgüte gepaart war, welch klarer Geist, welch gediegenes Urteil sich hier mit umfassendem Wissen nach allen Richtungen vereinte, das wissen nur seine Schüler, näheren Freunde und Hinterbliebenen. Der nähere Verkehr mit ihm wird wohl bei Jedem den wohlthuenden Eindruck, welchen seine glänzende weltmännische Erscheinung, sein wohlwollendes Wesen, seine vornehme Haltung bei der ersten Begegnung hervorrief, nur bestärkt haben.

Seinen Lebensabend erhellte die Erfüllung eines Wunsches, dessen Ausführung er schon vor mehr als dreißig Jahren als eine Notwendigkeit für eine Universität wie Wien erkannte: der Bau der neuen Sternwarte. Der von ihm ausgearbeitete, allgemein als trefflich anerkannte Plan dafür kam zur Ausführung, und so viel Arbeit und Mühe ihm der Bau, dessen Vollendung er nicht mehr erlebte, verursachte, so fand er doch immer Zeit, um an der neuen Auflage der „Wunder" rüstig zu schaffen."

Zur Vervollständigung dieses historischen Rückblickes möge zum Schlusse auch

noch der Bericht über die Umänderungen Platz finden, die ich selbst in der 7. Auflage des Werkes, der ersten, die meiner Redaktion anvertraut war, vorgenommen habe.

„. . . . Zunächst machte die seit der letzten Auflage eingetretene allgemeine Einführung des metrischen Maß- und Gewichtssystemes eine Umrechnung aller diesbezüglichen Zahlenangaben erforderlich. Die Positionen der Gestirne bezogen sich noch auf die schon weit entfernte Epoche von 1850, deren Abweichung von dem heutigen Stande des Himmels täglich fühlbarer hervortritt, und eine Reduktion auf eine andere, näher liegende Epoche, für welche das Ende unseres Jahrhunderts gewählt wurde, dringend geboten erscheinen ließ. Endlich verschwindet die Unterscheidung der Kometen in retrograde und direkte im wissenschaftlichen Verkehre nach und nach vollständig und es schien mir daher an der Zeit, den Anfang zu machen, mit dieser allerdings durch langjährigen Usus gleichsam geheiligten Zählweise, auch in populären Schriften zu brechen. So geringfügig nun die obengenannten Umänderungen auch an und für sich aussehen mögen, so bedingen doch schon sie allein eine so gut wie vollständige Umrechnung aller Zahlenangaben, — eine Arbeit, deren Umfang bei einem Werke dieser Art wohl nur jener richtig zu beurteilen in der Lage ist, der einmal eine ähnliche durchgeführt. Dazu tritt aber noch ein anderer Umstand.

Bereits in der Vorrede zur fünften Auflage beklagt sich der damalige Herausgeber K. v. Littrow darüber, daß die mosaikartige Einfügung der neuen Errungenschaften der Wissenschaft in das Werk ihm viel zu schaffen machte. Es ist nun wohl begreiflich, daß diese Schwierigkeiten sich mit jeder neuen Auflage in hohem Maße steigern, und man endlich auf einen Punkt gelangt, wo ein solches Einfügen nicht mehr ausführbar wird, ohne die logische Anordnung des Stoffes zu zerstören und Zusammengehöriges aus einander zu reißen. An diesem Punkte nun, schien es mir, sei man bereits an vielen Stellen des Werkes und ganzen Kapiteln desselben angelangt. Diesem Übelstande habe ich durch eine vollständige Umarbeitung der betreffenden Abschnitte abzuhelfen gesucht, die am auffälligsten bereits äußerlich bei der dritten Abteilung hervortritt, deren ehemalige 13 Kapitel durch geeignete Umstellungen in 11 zusammengezogen werden konnten, ohne irgend etwas Wesentliches von deren Inhalte wegzulassen.

Die eben verflossene Epoche war überdies abermals überreich an wichtigen astronomischen Entdeckungen. Die Frage nach der Existenz intramerkurieller Planeten ist durch neuere Untersuchungen in ein ganz anderes Stadium getreten; die Zahl der Asteroiden hat sich von 169 auf 247 vermehrt; die Entdeckung der Marsmonde und die Forschungen an Mars selbst bilden eine der interessantesten Epochen der neueren Astronomie; das Erscheinen mehrerer mächtiger Kometen mit ganz abnormen Bahnverhältnissen, welche mit den großen Mitteln der heutigen Optik allseitig aufs gründlichste untersucht wurden, gestattete uns ungeahnte Einblicke in das Wesen dieser noch immer so rätselhaften Körper; unsere Kenntnis der Fixstern-Entfernungen und des Baues des Fixsternhimmel überhaupt, hat sich wesentlich erweitert, u. s. w. Außerdem greift die Spektralanalyse immer tiefer in alle Gebiete der Sternkunde ein: es wurde ihr daher in der neuen Auflage weit mehr Rechnung getragen, als in den früheren, was wohl schon die Beigabe einer eigenen Spektraltafel hinreichend andeutet. Endlich war bisher die vierte Abteilung „Beobachtende Astronomie" von jeher so zu sagen als Stiefkind behandelt worden, forderte daher am dringendsten eine durchgreifende Umarbeitung, die vielleicht schon daraus ersichtlich wird, daß dieser Abteilung mehr als ein Dutzend Holzschnitte, Abbildungen von Instrumenten enthaltend, hinzugefügt wurde."

Wien, den 16. November 1896.

Edmund Weiß.

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung.

		Seite
	Einleitung	1
§ 1.	Kreise auf der Oberfläche einer Kugel	8
2.	Verhalten größter Kugelkreise gegen einander	9
3.	Neigung zweier Kreise gegen einander	10
4.	Himmlische und irdische Kreise	11
5.	Weltachse, Weltpole, Äquator	12
6.	Horizont, Zenith und Nadir	12
7.	Meridian, Mittagslinie, Kardinalpunkte des Horizontes	13
8.	Vertikalkreise, Höhe und Azimut der Sterne	13
9.	Deklinations oder Stundenkreise, Deklination, Stundenwinkel	14
10.	Rektascension und Deklination	15
11.	Länge und Breite	15
12.	Geographische Länge und Breite des Beobachters	17
13.	Äquator und Polhöhe des Beobachters	17
14.	Parallelkreise, Almukantharate	18
15.	Tag- und Nachtbogen; Auf- und Untergang der Sterne	19
16.	Kulmination der Sterne	20
17.	Cirkumpolarsterne, obere und untere Kulmination derselben	20
18.	Kulminationshöhe der Gestirne	20
19.	Quadrant als Instrument zum Höhenmessen	21
20.	Bestimmung der Polhöhe	22
21.	Bestimmung der Deklination der Cirkumpolarsterne	22
22.	Bestimmung der Deklination aller übrigen Sterne	22
23.	Sternzeit; Bestimmung der Rektascension der Sterne	23
24.	Zusammenstellung des Vorhergehenden	24

Erste Abteilung.

Theoretische Astronomie oder allgemeine Erscheinungen des Himmels.

Kapitel I. Gestalt und Größe der Erde.

§ 1.	Erste Erscheinungen am Himmel und auf der Erde	25
2.	Die Erde ist keine Ebene, und hat keine Unterstützung	25
3.	Kugelgestalt der Erde	26

Seite

§ 4. Weitere Beweise für die Kugelgestalt der Erde 27
I. Aus der Ansicht ferner Gegenstände 27
II. Aus Reisen in der Richtung des Meridians und um die Welt 28
III. Aus Mondfinsternissen 28
IV. Aus der Gestalt anderer Gestirne 29
5. Wieviel wir von der Erde in größeren Höhen übersehen 29
6. Größe der Erde 31
7. Genauere Bestimmung der Gestalt der Erde; Naturmaß 32

Kapitel II. Tägliche Bewegung der Erde.

§ 8. Tägliche Bewegung des Himmels 36
9. Äußere Wahrscheinlichkeit der Bewegung des Himmels 38
10. Erklärung jener Erscheinung durch die Rotation der Erde 39
11. Innere Wahrscheinlichkeit der Rotation der Erde:
I. Aus der Geschwindigkeit 40
II. Aus der Größe der übrigen Weltkörper 41
III. Aus der Rotation anderer Himmelskörper 42
IV. Aus der Gleichförmigkeit der Bewegung so vieler Himmelskörper 42
V. Aus dem Mangel eines Mittelpunktes dieser Bewegung 42
12. Einwürfe gegen die Rotation der Erde 43
13. Beweise für die Rotation der Erde
I. Fall der Körper von großen Höhen 45
II. Passatwinde 46
III. Abplattung der Erde; Centrifugalkraft 48
14. Schwere, Masse und Dichtigkeit der Körper 50
15. Verschiedenheit der Schwere auf der Erde 51
16. Messung der Schwere durch Pendel; Sekundenpendel 55
17. Weitere Beweise für die Rotation der Erde aus Pendelbeobachtungen:
A. Aus dem Gange der Uhren 58
B. Foucaults Pendelversuch 58
18. Folgen der Rotation der Erde, Datumsprung 61

Kapitel III. Jährliche Bewegung der Erde.

§ 19. Erscheinungen, an denen die Bewegung der Sonne erkannt wird 63
20. Die Sonnenbahn ist gegen den Äquator geneigt 65
21. Bestimmung der Lage der Sonnenbahn gegen den Äquator 66
22. Bestimmung der Schiefe der Ekliptik, und der Polhöhe zugleich 69
23. Gnomon 69
24. Säkulare Abnahme der Schiefe der Ekliptik 71
25. Bestimmung der Nachtgleichenpunkte und Rektascensionen der Sterne 73
26. Anfertigung von Sternkatalogen und deren Nutzen 76
27. Doppelte Erklärung der jährlichen Bewegung der Sonne 76
28. Die Sonne als vorzüglichster Körper des Planetensystems steht wahrscheinlich in der Mitte desselben 78
29. Die Erde bewegt sich um die viel größere Sonne 79
30. Analogie der Erde mit den übrigen Planeten 79
31. Die jährliche Bewegung der Erde ist eine Folge der täglichen 81

Kapitel IV. Jahreszeiten.

Seite
§ 32. Vorteile und Ursachen der Abwechselung der Jahreszeiten 83
33. Erklärung der vier Jahreszeiten 85
34. Heiße, kalte und gemäßigte Zone der Erde 88
35. Klimate der Alten 90
36. Schneegrenze und Isothermen 91
37. Erscheinungen für eine größere oder kleinere Schiefe der Ekliptik 92

Kapitel V. Parallaxen und Entfernungen der Gestirne von der Erde.

§ 38. Scheinbare Bewegung der Gegenstände 93
39. Bestimmung unzugänglicher Punkte und Linien auf der Oberfläche der Erde . . 94
40. Tägliche Parallaxe der Gestirne 96
41. Bestimmung der täglichen Parallaxe 97
42. Genauigkeit der Bestimmung der Entfernung eines Himmelskörpers 99
43. Bestimmung der Größe der Gestirne 101
44. Jährliche Parallaxe der Fixsterne 102

Kapitel VI. Aberration der Fixsterne.

§ 45. Erste hierher gehörende Erscheinungen 104
46. Messung der Geschwindigkeit des Lichtes 106
47. Zusammensetzung und Zerlegung der Geschwindigkeiten 111
48. Erklärung der Aberration 113
49. Rückblick 115

Kapitel VII. Präzession und Nutation.

§ 50. Präzession der Nachtgleichen 116
51. Wirkung der Präzession auf den Anblick des Himmels 117
52. Polarsterne für verschiedene Epochen 119
53. Zeichen und Sternbilder des Tierkreises 120
54. Anwendung der Präzession auf chronologische Untersuchungen 120
55. Historische Notizen über die Astronomie des Altertums 123
56. Nutation 126
57. Übersicht des Vorhergehenden 126

Kapitel VIII. Planetensysteme.

§ 58. Mannigfaltige Bewegungen der Planeten 127
59. Bewegung der unteren Planeten 128
60. Bewegung der oberen Planeten 129
61. Erste Ungleichheit der Planeten. Siderische Revolution 130
62. Zweite Ungleichheit der Planeten. Synodische Revolution 131
63. Grundsätze der Planetentheorie bei den älteren Astronomen 131
64. Erklärung der ersten Ungleichheit durch den excentrischen Kreis 132
65. Erklärung der zweiten Ungleichheit durch den Epicykel 133
66. Bestimmung der Umlaufszeiten dieser beiden Kreise 135

Seite

§ 67. Ptolemäisches Planetensystem 135
68. Ägyptisches Planetensystem 136
69. Kopernikanisches Planetensystem 138
70. Tychos Planetensystem 142
71. Unvollkommenheit des Kopernikanischen Systems 143
72. Erstes Gesetz Keplers 143
73. Anderer Ausdruck des ersten Keplerschen Gesetzes 146
74. Untersuchung der wahren krummen Linie der Planetenbahnen 147
75. Eigenschaften der Ellipse 149
76. Zweites Gesetz Keplers 150
77. Drittes Gesetz Keplers 151
78. Charakteristik des Sonnensystems 152

Kapitel IX. Bestimmung der Bahnelemente der Planeten und der Zeit.

§ 79. Heliocentrischer und geocentrischer Ort der Planeten 154
80. Neigung und Knoten der Planetenbahnen 155
81. Länge der Planeten in der Bahn und in der Ekliptik; Breite und Argument der Breite 156
82. Berechnung des heliocentrischen Ortes der Planeten, mittlere und wahre Planeten 157
83. Einrichtung der Planetentafeln 159
84. Bestimmung der Umlaufszeiten der Planeten. I. Siderische Umlaufszeit . . 159
85. II. Tropische Umlaufszeit 160
86. III. Synodische Revolution 161
87. Bestimmung der siderischen aus der synodischen Revolution 162
88. Bestimmung der Distanzen der Planeten 164
89. Bestimmung der Excentricität der Planetenbahnen 165
90. Bestimmung der Lage der Apsidenlinie 165
91. Bewegung der Apsiden 166
92. Dauer der Jahreszeiten in verschiedenen Jahrhunderten 166
93. Zeitbestimmung; Sternzeit 169
94. Wahre Sonnenzeit 170
95. Mittlere Zeit 171
96. Zeitgleichung 171
97. Vergleichung der Sternzeit mit der mittleren Sonnenzeit 172
98. Einführung der mittleren Zeit in das bürgerliche Leben 174
99. Normal- oder Zonenzeit 175

Kapitel X. Verfinsterungen des Mondes und der Sonne.

§ 100. Mondfinsternisse 179
101. Berechnung einer Mondfinsternis 182
102. Sonnenfinsternisse 184
103. Wahrnehmungen bei Sonnenfinsternissen 188

Kapitel XI. Atmosphäre der Erde.

§ 104. Höhe und Dichtigkeit der Atmosphäre 190
105. Refraktion 191
106. Horizontalrefraktion 194

Seite

§ 107. Funkeln oder Scintillieren der Sterne 195
108. Terrestrische Refraktion 195
109. Reflexion der Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre 196
110. Dämmerung 197
111. Absorption des Lichts in der Atmosphäre 198
112. Optische Täuschungen 199
113. Zodiakallicht 202

Kapitel XII. Gebrauch des Himmels- und des Erdglobus und der Sternkarten.

A. Himmelsglobus.

§ 114. Einrichtung des Himmelsglobus 203
115. Orientierung des Globus 205
116. I. Darstellung des Himmels, wie derselbe einem Beobachter zu einer gegebenen Zeit erscheint 205
II. Die Cirkumpolarsterne zu finden 206
III. Den Ort der Planeten und der Sonne unter den Fixsternen anzugeben . 206
IV. Aus der Rektascension und Deklination eines Gestirns die Länge und Breite desselben zu finden 206
V. Den Auf- und Untergang und die Morgen- und Abendweite der Sonne zu finden 207
VI. Die Zeit der Kulmination und des Auf- und Unterganges eines Gestirns zu finden 207
VII. Den kosmischen Auf- und Untergang der Sterne zu finden 207
VIII. Für jede Stunde die Höhe und das Azimut eines Sterns für einen gegebenen Beobachtungsort zu finden 208
IX. Zu jeder gegebenen mittleren Zeit die Sternzeit zu finden 208
X. Den Tag zu bestimmen, an welchem die Sonne zu einer gegebenen Zeit auf- oder untergeht 208
XI. Zeitbestimmung 208
XII. Gebrauch des Äquators statt der Rose 210

B. Erdglobus.

§ 117. I. Darstellung der Jahreszeiten und ihrer Erscheinungen durch den Erdglobus 211
II. Verhältnis der einzelnen Orte der Erde gegen einander 212
III. Bestimmung des Auf- und Unterganges der Sonne mittelst eines Erdglobus 212
IV. Wie die Erde zu jeder gegebenen Zeit von der Sonne beleuchtet wird . 213
V. Den längsten und kürzesten Tag eines Ortes zu finden 214

C. Sternkarten.

§ 118. Beschreibung und Gebrauch von Sternkarten 214
119. Erkennen der Gestirne durch Alignement 216
120. Namen der Sterne 219
121. Tafeln der Präzession 222

Zweite Abteilung.

Beschreibende Astronomie oder Topographie des Himmels.

Kapitel I. Die Sonne.

Seite

§ 1. Masse, Größe und Dichte der Sonne 227
2. Fall der Körper auf der Oberfläche der Sonne 229
3. Emanations- und Vibrationshypothese 230
4. Erhaltung der Kraft 233
5. Wellenbewegung des Lichtes 237
6. Polarisation 238
7. Komplementäre Farben 241
8. Spektrum 242
9. Unsichtbare Teile des Spektrums 247
10. Teleskopisches Aussehen der Sonne 251
11. Veränderlichkeit der Flecken 252
12. Größe der Flecken 252
13. Farbe und Struktur der Flecken 254
14. Periodicität der Flecken 255
15. Zone der Sonnenflecken 258
16. Gesetze der Fleckenbildung 259
17. Rotation der Sonne 260
18. Eigenbewegung der Flecken 262
19. Spektroskopische Bestimmung der Rotation der Sonne 264
20. Entdeckung der Flecken 265
21. Zusammenhang zwischen Sonnenflecken und anderen Erscheinungen 268
22. Indirekte Bestimmung der Rotationsdauer der Sonne 273
23. Struktur u. s. w. der Fackeln 275
24. Atmosphäre der Sonne 276
25. Erscheinungen bei totalen Sonnenfinsternissen 279
26. Spektralbeobachtungen von Protuberanzen und Sonnenflecken 284
27. Konstitution der Sonne 289
28. Leuchtkraft und Temperatur der Sonne 291
29. Erhaltung der Sonnenwärme 292

Kapitel II. Hypothetische intramerkurielle Planeten.

§ 30. Apriorische Vermutungen 298
31. Scheinbare Bestätigung durch die Erfahrung 299
32. Schlußuntersuchungen von Le Verrier und Oppolzer 303
33. Kritik von C. H. F. Peters 305
34. Schlußbemerkungen 308

Kapitel III. Merkur.

§ 35. Entfernung, Umlaufszeit, Maße u. s. f. 309
36. Phasen Merkurs 310
37. Sichtbarkeit Merkurs 312

Seite

§ 38. Rotation Merkurs 313
39. Jahres- und Tageszeiten auf Merkur 315
40. Atmosphäre Merkurs 317
41. Vorübergänge Merkurs vor der Sonnenscheibe 318

Kapitel IV. Venus.

§ 42. Namen und Zeichen dieses Planeten 320
43. Entfernung und Umlaufszeit der Venus 321
44. Phasen und Sichtbarkeit der Venus 322
45. Atmosphäre; Flecken und Berge der Venus 323
46. Rotation der Venus 325
47. Tages- und Jahreszeiten auf der Venus 326
48. Venusmond 327
49. Wichtigkeit der Durchgänge der Venus vor der Sonne 329
50. Wann diese Durchgänge stattfinden 329
51. Die ersten beobachteten Durchgänge der Venus 330
52. Frühere Versuche, die Horizontalparallaxe der Sonne zu finden 332
53. Venusdurchgang von 1769 333
54. Methode, aus diesen Durchgängen die Sonnenparallaxe zu finden 334
55. Schwierigkeiten bei der Beobachtung von Venusdurchgängen 337
56. Die Venusdurchgänge von 1874 und 1882 338
57. Andere Bestimmungen der Sonnenparallaxe 340

Kapitel V. Mars.

§ 58. Entfernung, Umlaufszeit, Zeichen des Mars 342
59. Flecken und Rotation des Mars 344
60. Tages- und Jahreszeiten auf Mars 344
61. Topographie des Mars 345
62. Veränderungen auf der Oberfläche des Mars 350
63. Atmosphäre des Mars 354
64. Bewohner des Mars 356

Kapitel VI. Asteroiden.

§ 65. Merwürdige Reihe in den Entfernungen der Planeten 358
66. Entdeckung der ersten Asteroiden 358
67. Zweite Epoche der Asteroiden-Entdeckungen 363
68. Rückblick 384
69. Dritte Epoche der Asteroiden-Entdeckungen 388
70. Anzahl der Asteroiden 394
71. Größe dieser Planeten 397
72. Masse und Ursprung der Asteroiden 400
73. Verteilung der Asteroidenbahnen 401
74. Bahnnähen und physische Zusammenkünfte der Asteroiden 404

Kapitel VII. Jupiter.

§ 75. Distanz, Umlaufszeit, Durchmesser ꝛc. Jupiters 406
76. Unterschiede der vier entferntesten Planeten von den anderen 409

Seite

§ 77. Streifen und Flecken auf Jupiter 410
78. Rotation und Abplattung Jupiters 412
79. Atmosphäre und Konstitution Jupiters 413
80. Klima, Jahres- und Tageszeiten auf Jupiter 417

Kapitel VIII. Saturn.

§ 81. Entfernung, Umlaufszeit ꝛc. Saturns 418
82. Streifen und Atmosphäre Saturns 419
83. Rotation und Abplattung Saturns 420
84. Ringsystem Saturns 421
85. Verschiedene Gestalten des Ringes von Sonne und Erde aus gesehen 424
86. Rotation und physische Beschaffenheit des Ringsystems 427
87. Dimensionen Saturns und seines Ringsystems 429
88. Anblick des Himmels von Saturn aus 431

Kapitel IX. Uranus.

§ 89. Entfernung und Umlaufszeit des Uranus 433
90. Entdeckung, Name, Zeichen ꝛc. 433
91. Rotation, Abplattung und Spektrum des Uranus 434
92. Tages- und Jahreszeiten des Uranus 435

Kapitel X. Neptun.

§ 93. Anomalien in der Bewegung des Uranus. Vermutungen über die Existenz eines Planeten jenseits desselben 436
94. Genauere Untersuchung der Uranus-Bewegung. Le Verrier 440
95. Auffindung und Benennung des neuen Planeten 446
96. Adams Arbeiten über die Uranustheorie 447
97. Schlußbemerkungen; Entfernung, Umlaufszeit u. s. w. Neptuns 450
98. Sind noch transneptunische Planeten vorhanden 452
99. Bewohner der Planeten 453

Kapitel XI. Mond.

§ 100. Umlaufszeiten und Entfernung des Mondes 455
101. Phasen des Mondes 456
102. Ähnliche Erscheinungen der Erde für den Mond 458
103. Aschgraues Licht des Mondes 460
104. Kulminationshöhe des Sommer- und Winter-Vollmondes 460
105. Achsendrehung oder Rotation des Mondes 461
106. Jahres- und Tageszeiten des Mondes 462
107. Atmosphäre und Wasser auf dem Monde 464
108. Wie auf dem Monde der Himmel erscheint 465
109. Vordere und hintere Seite des Mondes 467
110. Einflüsse des Mondes auf die Erde 468
111. Betrachtungen über eine Reise in den Mond 468
112. Anblick des Mondes 471
113. Gebirgsketten, Rillen. Lichtstreifen ꝛc. des Mondes 472

Seite
§ 114. Ringgebirge des Mondes 475
115. Messung der Höhe der Mondberge 477
116. Topographie des Mondes 478
117. Veränderungen auf der Mondoberfläche 480
118. Bewohner des Mondes 482
119. Verkehr mit den Seleniten 484

Kapitel XII. Die Monde der äußeren Planeten.

I. Satelliten des Mars.

§ 120. Entdeckung der Marsmonde 486
121. Größe und Bewegungsverhältnisse der Marsmonde 491

II. Satelliten Jupiters.

§ 122. Entdeckung und Namen der 4 älteren Jupitermonde 493
123. Verfinsterungen und Vorübergänge dieser Monde 495
124. Merkwürdige Verhältnisse zwischen den Bewegungen dieser Satelliten 497
125. Anwendung derselben auf astronomische Untersuchungen 498
126. Bahnelemente, Größe und physische Beschaffenheit der vier älteren Jupitermonde 499
127. Entdeckung, Größe u. s. w. des fünften Jupitermondes 502
128. Anblick des Himmels von den Monden Jupiters 503

III. Satelliten der übrigen Planeten.

§ 129. Entdeckung, Größe, u. s. w. der Saturnsmonde 503
130. Satelliten von Uranus 506
131. Satellit von Neptun 507
132. Eventuelle Monde von Merkur und Venus 508

Kapitel XIII. Kometen.

§ 133. Anzahl der Kometen 509
134. Neigung der Kometenbahnen gegen die Ekliptik 509
135. Gestalt und Größe der Kometen 511
136. Sehr große Kometen 514
137. Eigenlicht und Spektrum der Kometen 516
138. Durchsichtigkeit, Masse und Dichte der Kometen 517
139. Berechnung der Kometenbahnen 518
140. Halleys Komet 523
141. Erste beobachtete Erscheinung des Halleyschen Kometen 525
142. Zweite und dritte sichere Erscheinung 526
143. Vierte Erscheinung 527
144. Fünfte Erscheinung 528
145. Sechste Erscheinung 529
146. Physische Erscheinungen des Kometen Halley im Jahre 1835 530
147. Komet 1862 III 533
148. Komet Encke 534
149. Komet Biela 536
150. Bemerkungen über das Zusammentreffen eines Kometen mit der Erde . . . 539

Seite

§ 151. Der periodische Komet von Faye 542
152. Anfertigung des Modells einer Kometenbahn 543
153. Die Kometen 1844 I und 1894 IV 545
154. Komet Brorsen 548
155. Die Kometen 1770 I und 1889 V 549
156. Komet Holmes 553
157. Die großen Kometen von 1843, 1880 und 1882. I. Komet von 1843 . . . 555
158. II. Der große südliche Komet von 1880 564
159. III. Der große Komet von 1882 568
160. Der Donatische Komet 578
161. Der große Komet von 1861 584
162. Komet Coggia 587
163. Natur der Kometen 588
164. Bedeutung und Einfluß der Kometen 592
165. Bewohner der Kometen 595

Kapitel XIV. Sternschnuppen.

§ 166. Scheinbare Größe, Dauer, Farbe ꝛc. der Sternschnuppen 596
167. Aërolithenfälle 598
168. Höhe, Masse, periodische Veränderlichkeit in der Häufigkeit der Meteore . . . 605
169. Periodische und sporadische Sternschnuppen 613
170. Entstehung der Meteorringe 617
171. Stellung der Kometen und Meteore im Sonnensysteme 621
172. Nähere Besprechung der vier wichtigsten Meteorströme 624

Kapitel XV. Anzahl, Entfernung und Größe der Fixsterne.

§ 173. Scheinbare Größe und Farbe der Fixsterne 632
174. Veränderungen der Größe und Farbe der Fixsterne 635
175. Historische Notizen bezüglich der Parallaxe der Fixsterne 636
176. Endliche Auffindung von Fixsternparallaxen 640
177. Wahre Größe der Fixsterne 644
178. Physikalische Beschaffenheit der Sterne 647
179. Anzahl der Sterne 652
180. Form unseres Fixsternhimmels 657
181. Beschreibung der Milchstraße 661
182. Andere Milchstraßen 662
183. Eigenbewegung der Fixsterne 664
184. Bewegungen der Sonne 669

Kapitel XVI. Doppelsterne.

§ 185. Sternreiche Gegenden des Himmels 671
186. Klassen, Größenverhältnisse, Zahl und Verteilung der Doppelsterne 672
187. Drei- und mehrfache Sterne 674
188. Farben der Doppelsterne 675
189. Bewegungen der Doppelsterne 677
190. Bahnbestimmung der Doppelsterne 679
191. Näheres über einzelne Doppelsterne 682

Seite

§ 192. Doppelsterne als Prüfungsmittel der Fernrohre 689
193. Bahnen der Planeten der Doppelsterne; Anblick des Himmels auf ihnen . . 691
194. Veränderlichkeit der Eigenbewegungen der Fixsterne 694
195. Spektroskopische Auffindung von Doppelsternen 700
196. Geschichte der Entdeckung der Doppelsterne 702

Kapitel XVII. Veränderliche Sterne.

§ 197. Veränderliche Sterne 704
198. Näheres über einzelne Veränderliche 706
199. Ältere Nachrichten über temporäre und neue Sterne 722
200. Natur der Veränderlichen 723

Kapitel XVIII. Sterngruppen und Nebelmassen des Himmels.

§ 201. Der Milchstraße ähnliche Gebilde des Himmels 725
202. Eigentliche Sterngruppen 728
203. Große blasse, weitverbreitete Nebel 733
204. Nebel von regelmäßiger Gestalt 735
205. Doppelnebel 735
206. Planetarische und ringförmige Nebel 736
207. Sternnebel 739
208. Sterne mit Nebelstrahlen 741
209. Spiralnebel 742
210. Einige andere merkwürdige Nebel 743
211. Nebel in der Andromeda 745
212. Der große Nebel im Orion 745
213. Sternhaufen und Nebelflecke des südlichen Himmels 747
214. Eigenbewegung und Veränderlichkeit dieser Himmelskörper 749
215. Natur der Nebelflecke 754

Dritte Abteilung.

Physische Astronomie oder Gesetze der himmlischen Bewegungen.

Kapitel I. Allgemeine Schwere.

§ 1. Momentane und kontinuierliche Kräfte 759
2. Freier Fall der Körper, auf der Oberfläche der Erde 760
3. Vorgänger Newtons 763
4. Veranlassung zur Entdeckung der Gravitation 766
5. Wie die Attraktion wirkt 768
6. Wirkung der Attraktion der Erde auf ruhende und bewegte Körper 770
7. Anwendung des Vorhergehenden auf den Mond 772
8. Weitere Versuche Newtons 773
9. Frühere Darstellung der schließlichen Entdeckung des Gesetzes der allgemeinen Gravitation 775
10. Kurze Inhaltsanzeige der Principia von Newton 777

Seite

§ 11. Geltungsbereich des Gesetzes der allgemeinen Schwere 780
12. Bahn der geworfenen Körper auf der Erde 780
13. Anwendung des Vorhergehenden auf den Mond 782
14. Prinzip der Erhaltung der Flächen bei Bewegungen durch Zentralkräfte . . . 783
15. Allgemeine Betrachtungen der Kegelschnitte 784
16. Bedingungen, unter denen die Bahn eine Ellipse oder Hyperbel wird 786
17. Wahrscheinlichkeit der Ellipse 789
18. Mittelpunkt der freien Rotation der Planeten 790
19. Freie Achse der Rotation 791
20. Stabilität der Rotationsachsen der Planeten 792

Kapitel II. Masse, Dichte und Gestalt der Himmelskörper.

§ 21. Nähere Bestimmung des Gesetzes der allgemeinen Schwere 793
22. Berechnung der Acceleration der Schwere und des Gewichtes auf den Himmelskörpern 795
23. Bestimmung der Masse der Sonne 796
24. Analoge Bestimmung der Masse der Planeten, und derjenigen von Doppelsternen 798
25. Abplattung durch Rotation 799
26. Lage der Erdachse in früheren Zeiten 800
27. Unveränderlichkeit der Rotationsdauer der Erde 802
28. Centralfeuer der Erde 804
29. Die Temperaturänderungen der Erde sind seit der historischen Zeit unmerklich . 805
30. Alter der Erde und der Planeten 807
31. Temperatur des Weltraums 808
32. Dichte der Himmelskörper 808
33. Dichte der Erde 809

Kapitel III. Ebbe und Flut des Meeres.

§ 34. Erscheinungen der Ebbe und Flut im allgemeinen 811
35. Ursachen der Ebbe und Flut 812
36. Lokalverhältnisse, welche die Ebbe und Flut modifizieren; Hafenetablissement . . 813
37. Erklärung dieser Erscheinungen 814
38. Bestimmung der Mondmasse; Geschichte der Theorie der Ebbe und Flut . . . 816
39. Ebbe und Flut der Atmosphäre 817

Kapitel IV. Störungen der Planeten überhaupt.

§ 40. Störungen der Planeten überhaupt 817
41. Erleichterungen. I. Große Entfernungen der Gestirne von uns 818
42. II. Große Masse der Sonne gegen die der Planeten 820
43. III. Kleine Excentricitäten und Neigungen der Planetenbahnen 821
44. IV. Große Entfernungen der Planeten untereinander 821
45. Problem der drei Körper 822

Kapitel V. Periodische Störungen.

§ 46. Zwei Klassen von Störungen 823
47. Periodische Störungen des Mondes. I. Evection 823

Seite

§ 48. II. Variation 826
49. III. Kleinere Mondstörungen 826
50. Bestimmung der Sonnenparallaxe und der Erdabplattung durch die Störungen des Mondes 827
51. Periodische und spezielle Störungen der Planeten 828
52. Große Störung zwischen Jupiter und Saturn 829

Kapitel VI. Säkuläre Störungen.

§ 53. Säkuläre Störungen des Mondes. I. Bewegung der Knotenlinie 831
54. II. Bewegung der Apsiden der Mondbahn 832
55. Darstellung der Bewegung der Apsiden der Mondbahn 833
56. Acceleration der mittleren Bewegung des Mondes 836
57. Säkuläre Störungen in der Bewegung der Apsiden- und Knotenlinie 837
58. Säkuläre Änderungen der Rotation des Mondes 838
59. Scheinbare Librationen des Mondes 839
60. Säkuläre Störungen der Planeten 840
61. Veränderlichkeit des tropischen Jahres 841
62. Einfluß der Störungen auf die Jahreszeiten 843
63. Säkuläre Störungen als Mittel zur Bestimmung der Massen 844

Kapitel VII. Ursprung und Dauer des Weltsystems.

§ 64. Ältere Geogonien 844
65. Besondere Eigenschaften des Planetensystems 847
66. Kant-Laplace'sche Hypothese 849
67. Allgemeine Bemerkungen über die Dauer des Weltsystems 853
68. Unveränderlichkeit der großen Achsen der Planetenbahnen 855
69. Die Änderungen der Excentricitäten und Neigungen der Planetenbahnen sind in enge Grenzen eingeschlossen 856
70. Weitere Gründe für die Stabilität des Sonnensystems 857
71. Notwendige Beschränkung der vorhergehenden Betrachtungen 859

Vierte Abteilung.

Beobachtende Astronomie oder Beschreibung und Gebrauch der astronomischen Instrumente.

§ 1. Vorbemerkungen 863
2. Instrumente der Alten. Gnomon 866
3. Fortsetzung. Triquetrum, Quadrant, Astrolobium, Armillen 868
4. Mauerquadrant 873
5. Erfindung und Einrichtung des Fernrohres 875
6. Allmähliche Verbesserung der Fernrohre 881
7. Anwendung der Fernrohre bei Meßinstrumenten 891
8. Hadleys Spiegelsextant 894
9. Rectifikation des Spiegelsextanten 896
10. Beobachtungen mit dem Spiegelsextanten 897

Seite

§ 11. Zeitbestimmung im allgemeinen 900
12. Dents Dipleidoskop und Steinheils Passagenprisma 904
13. Ebles Zeitbestimmungswerk und Stundenzeiger 907
14. Korrespondierende Höhen zu Zeitbestimmungen 908
15. Kronodeik 911
16. Sonnenuhren im allgemeinen 912
17. Horizontaluhr 914
18. Äquatorialuhr 917
19. Sonnenuhr für jede gegebene Fläche 919
20. Bestimmung des Standes und Ganges einer Uhr 920
21. Einrichtung der Uhren, Arten derselben 923
22. Prüfung von Chronometern 926
23. Libelle oder Wasserwage 929
24. Mittagsrohr 932
25. Rektifikation des Mittagsrohres 935
26. Beobachtungen mit dem Mittagsrohre 940
27. Meridiankreis 942
28. Bestimmung des Indexfehlers des Meridiankreises 946
29. Historische Notizen über Meridiankreise 949
30. Universalinstrument 953
31. Rektifikation des Universalinstrumentes 955
32. Theodolit, Höhenkreis 957
33. Äquatorial 959
34. Rektifikation des Äquatoriales 961
35. Triebwerke bei Äquatorialen 964
36. Historische Notizen über Äquatoriale 966
37. Beobachtungen mit dem Äquatorial 974
38. Schraubenmikrometer 976
39. Positionsmikrometer 978
40. Kreismikrometer 980
41. Heliometer 981
42. Transversalen, Vernier, Ablesemikroskop 986
43. Längenbestimmungen durch Sternschnuppen, Pulversignale und Finsternisse . . 989
44. Längenbestimmungen durch Monddistanzen und Mondkulminationen 991
45. Längenbestimmungen durch Telegraphen und Chronometer 994
46. Nautische Astronomie 995
47. Systematische und zufällige Fehler 1000
48. Methode der kleinsten Quadrate 1004
49. Sternwarten 1006
50. Wichtigkeit des astronomischen Liebhabertums 1018

Elemente der Planeten, Satelliten und Kometen unseres Sonnensystems.

Seite
Übersicht des Planetensystems 1024
A. Bahnelemente der großen Planeten 1032
B. Bahnelemente der Satelliten 1033
C. I. Alphabetisches Verzeichnis der Asteroiden 1036
C. II. Bahnelemente der Asteroiden 1038
Verzeichnis der berechneten Kometen 1052
Bemerkungen zum vorstehenden Verzeichnisse 1066
Zusammenstellung der periodischen, bereits in mehr als einer Erscheinung beobachteten Kometen 1073

Alphabetisches Sachregister 1078
Namenregister 1094

Erklärung der Tafeln.

Tafel I. Sternkarte der nördlichen Hemisphäre.
= II. Sternkarte der südlichen Hemisphäre.
= III. Fig. 1 u. 2. Gewöhnliche Form isolierter Sonnenflecken mittlerer Größe.
Fig. 3. Sonnenfleck von spiraliger Struktur nach A. Secchi.
Fig. 4 u. 5. Detailzeichnungen eines Sonnenfleckes nach A. Weiß.
Fig. 6. Ausgedehnte Fleckengruppe nach J. F. Schmidt.
= IV. Ausgedehnte Protuberanzen-Gruppe, spektroskopisch beobachtet nach J. Winlock.
= V. Mars nach J. V. Schiaparelli.
= VI. Jupiter und Saturn nach Warren de la Rue.
= VII. Mondkarte nach Lohrmann und Mädler.
= VIII. Beleuchtungsgrenze der Nordhalbkugel des Mondes im ersten Viertel nach einer Photographie der Brüder Henry.
= IX. Komet Donati nach W. C. Bond.
= X. Partie der Milchstraße im Schwan, nach einer Photographie der Brüder Henry
= XI. Andromeda-Nebel nach einer Photographie von Isaac Roberts.
= XII. Orion-Nebel nach G. P. Bond.
= XIII. Ringnebel in der Leier und Spiralnebel in den Jagdhunden durch starke und schwache Fernrohre gesehen.
= XIV. Spektra der Sonne, der Fixsterne, Nebelflecke und Kometen.

Einleitung.

Unter allen Wissenschaften, die der menschliche Geist seit den ältesten Zeiten zu seiner eigenen Vervollkommnung auszubilden suchte, ist wohl die Astronomie diejenige, welche die längste Kette von großen und wichtigen Entdeckungen darbietet. Es ist ohne Zweifel sehr weit von dem ersten, gedankenlosen Anschauen des Himmels bis zu jenem Blicke, mit welchem wir jetzt alle die mannigfaltigen Gegenstände desselben umfassen, mit welchem wir nicht nur die Erscheinungen längst vergangener Jahrhunderte, sondern auch diejenigen, welche die Folgezeit erst unseren späten Enkeln vorführen wird, mit einer Sicherheit bestimmen können, deren sich wohl nur wenige unserer menschlichen Wahrheiten zu erfreuen haben mögen.

Es kann für jeden, dem die Ehre seines eigenen Geschlechtes teuer ist, nicht anders als höchst interessant sein, zu erfahren, auf welchem Wege man zu diesen Kenntnissen gelangte. Die Bemühungen so vieler vorhergegangener Jahrhunderte und die Vereinigung der vorzüglichsten Männer aller gebildeten Nationen wurde erfordert, um die Astronomie auf diejenige Stufe ihrer Vollendung zu erheben, auf welcher sie jetzt den Gegenstand unserer Bewunderung und, wie man sagt, den Stolz des menschlichen Geistes bildet.

Wie man sagt, und wie man vielleicht nicht sagen sollte. Denn so hoch auch das Ziel stehen mag, welches er zu erreichen strebte und auch in der That, wenigstens zum Teil erreicht hat, — der Weg, welcher ihn dazu führte, auch die Art, wie er ihn zurücklegte, scheint mehr geeignet, uns mit bescheidener Demut als mit Stolz zu erfüllen, und an das Gefühl der Ohnmacht zu erinnern, welches der gewöhnliche Begleiter des Menschen auf seiner Bahn zur Wahrheit ist. Wir werden sehen, daß der menschliche Geist in dieser Wissenschaft in der That weiter als in allen anderen vorgedrungen, aber auch daß die schönsten und wichtigsten Entdeckungen, deren wir uns rühmen, oft nur durch Zufall oder auf Abwegen gemacht wurden, auf welchen man, ganz andere Schätze suchend und nicht findend, Jahrhunderte lang ohne Rat und Steuer umhergeirrt war.

Beinahe die vollen vier ersten Jahrtausende unserer sogenannten Weltgeschichte verblieb die Astronomie in ihrer hilflosen Kindheit. Erst zwei Jahr-

hunderte vor dem Anfange der christlichen Zeitrechnung unternahm sie, in der Alexandrinischen Schule, unter dem Schutze der die Wissenschaften liebenden Ptolemäer, die ersten furchtsamen Schritte. Allein die darauf folgende Uebermacht der Römer, welche diese Wissenschaft nie kultivierten, und der gewaltsame Sturz ihres Reiches, der die ganze damals bekannte Welt erschütterte, begrub auch sie unter den Trümmern, die so lange Zeit nach jener Trauerepoche Kunst und Wissenschaft und Bildung jeder Art bedeckten. Gleichsam zum Ersatze erhob sich im siebenten Jahrhundert ein Nomadenvolk der Wüste, ein Volk von Eroberern, die Araber, berühmt durch das kurze, aber weithin schimmernde Glück ihrer Waffen und nicht minder groß durch den Schutz, dessen sich unter ihrer Ägide die Wissenschaften und vorzüglich die Astronomie erfreuten. Aber nur zu bald wieder lagerte sich, mit dem Untergange dieses Heldenvolkes, eine tiefe Nacht der Barbarei über den Erdball. Unwissenheit und Aberglaube wurden das Losungswort der verwilderten Nationen: allgemeine Entartung der Sitten, abenteuerliche und unmenschliche Kriege und ihr gewöhnliches Gefolge, stumpfe Ermattung, Mangel und Not und verheerende Seuchen füllen die Blätter der nächstfolgenden Jahrhunderte der Menschengeschichte.

Endlich, fünfzehnhundert Jahre nach dem Anfange unserer Zeitrechnung, schien der Genius des so lange verlassenen Geschlechtes wieder aus seinem tiefen Schlafe zu erwachen. Ueber das in Blut getränkte, mit den Ruinen der Barbarei bedeckte Europa schwang er zum zweiten Male seine Fackel, nachdem er sie in Asien und Afrika, wie es schien, für immer gelöscht hatte, und beleuchtete mit ihren wohlthätigen Strahlen neue, der Kultur ganz ungewöhnte, der bisherigen Menschengeschichte ganz unbekannte Gegenden. Von ihrem Lichte geleitet, entdeckte Columbus die neue Welt und Kopernicus das neue Planetensystem. Mit beiden brach die Epoche eines anderen und besseren geselligen und geistigen Lebens an. Aus dem Schoße Deutschlands war die wichtigste aller Erfindungen, die Buchdruckerkunst, hervorgegangen, die uns die Erhaltung aller übrigen sichern und jeden Rückfall in die frühere Barbarei unmöglich machen sollte, während in Italien unter den Mediceern die Schriften der Griechen und Römer wieder aus ihren Gräbern stiegen und die schönen Künste, von dem belebenden Geiste der Alten angehaucht, in fröhlicher Blüte standen.

Nahezu vier Jahrhunderte sind seitdem verflossen, glänzende, ruhmvolle Jahrhunderte für das Menschengeschlecht, und noch beben die Saiten, noch vernimmt das geistige Ohr die Schwingungen der in jener Epoche der Wiedergeburt angeregten himmlischen Töne. Noch sind wir, so wünschen, so hoffen wir, im Fortschreiten begriffen; zu breit, zu tief fließt der Strom der Erkenntnis vor unsern Blicken, als daß eine Dämmung desselben durch Wiederkehr der alten feindlichen Mächte, in unseren Tagen wenigstens, befürchtet werden könnte.

Zwei Dinge sind es, sagt der unsterbliche Mann, der Deutschland zur philosophischen Schule Europas gemacht hat, zwei Dinge sind es, die vor allen andern würdig erscheinen, die Aufmerksamkeit des menschlichen Geistes zu fesseln, und die ihn mit immer neuer Bewunderung erfüllen: *das moralische Gesetz in uns und der gestirnte Himmel über uns.*

Jenes erste trägt jeder Mensch in seinem eigenen Busen, und es liegt ihm nahe genug, um keiner weiteren Erläuterung zu bedürfen. Das zweite aber, — was ist es, das uns an ihm ergetzt und das, auch noch so oft betrachtet, uns immer wieder zu ihm zurückzieht? Worin besteht eigentlich der so oft gerühmte große Genuß, den der Anblick des gestirnten Himmels jedem gebildeten und gefühlvollen Menschen gewährt?

Der bloße Anblick desselben allein kann es nicht sein, so wenig wie der Anblick einer großen, zur Nachtzeit von unzähligen Lampen beleuchteten Stadt, so wenig wie der eines endlosen Fackelzuges oder wie jener des unermeßlichen Meeres. Die Einförmigkeit aller dieser Dinge, so groß sie auch an sich sein mögen, wird uns bald ermüden, und auch das über uns ausgespannte Gewölbe des Himmels mit seinen Tausenden von Sternen würde uns nicht länger fesseln als etwa das eines mit eben so vielen Lichtern besetzten Doms, den wir das erste Mal anstaunen und an dem wir später vielleicht gleichgiltig und gedankenlos vorübergehen.

Sollte es nicht eben diese Gedankenlosigkeit sein, die dem Anblicke des gestirnten Himmels, der sich für den Gebildeten bei jeder folgenden Betrachtung mit immer neuen Reizen schmückt, für den Wilden nur sehr geringes Interesse verleiht? Wie viele Menschen sehen die Sonne und den Mond und dieses zahllose Heer von Sternen täglich vor sich auf- und untergehen, ohne sich nur ein einziges Mal zu fragen, woher sie kommen und wohin sie gehen, und warum sie ewig in denselben Kreisen um die Erde ziehen!

Das *Nachdenken* über diese Gegenstände und die nähere Betrachtung derselben mit unserem *geistigen* Auge, — dieses muß es also sein, das uns so mächtig an sie zieht, und das, weit entfernt, uns durch die Einförmigkeit des Schauspieles zu ermüden, uns vielmehr immer neue und immer größere Schönheiten entdecken läßt.

Wir werden bald sehen, welche Gelegenheiten zu diesem Nachdenken uns die Astronomie beinahe auf allen ihren Blättern darbietet. Ehe wir uns aber zu diesem Geschäfte anschicken, wird es nötig sein, uns zuerst von den Vorurteilen zu befreien, die uns von unserer ersten Jugend an umgeben, und welche uns die reine Ansicht der großen Werke der Natur so gut als ganz unmöglich machen. Und auch dazu wird uns diese Wissenschaft selbst die beste Gelegenheit geben. Denn beinahe alle ihre Lehren stehen im geraden Widerspruche mit den Meinungen der großen Menge, ja selbst mit den unmittelbaren Eindrücken unserer Sinne. So scheint uns die Erde, auf der wir stehen, so fest und wohlbegründet, daß sie

in beinahe allen unseren Sprachen zum Symbole der Stetigkeit geworden ist, während sie doch mit allem, was in und auf ihr ist, selbst mit dem sie umgebenden Luftmeere von einer unsichtbaren Hand täglich wie ein Kreisel um ihre eigene Achse und jährlich um die Sonne mit einer Geschwindigkeit geführt wird, die jene sehr weit übertrifft, welche wir den Körpern der Erde durch die Kraft des Pulvers oder der Dämpfe geben können. Der Mond und die Sonne erscheinen uns als kreisrunde Scheiben von nur mäßiger Größe und Entferung, da doch jener über 380 Tausend, diese aber über 150 Millionen Kilometer von uns absteht und überdies unsere Erde über ein und ein Viertel Millionen mal an körperlicher Größe übertrifft. Jene Planeten, oft kaum bemerkbare Punkte des Himmels, sind Erden, ähnlich der unseren und vermutlich so wie diese von Tausenden von Geschöpfen bewohnt, und jene Sterne, schwache Lichtfunken, die, ihrer zahllosen Menge ungeachtet, unsere Nächte nur sehr spärlich erleuchten, sind eben so viele Sonnen, Licht- und Lebensquellen für Myriaden von Planeten, die sich alle, einem großen Gesetze gehorchend, seit undenklichen Zeiten in nie gestörter Ordnung um jene Centralkörper bewegen. Ja, diese unsere Erde selbst, unser Wohnort, unsere Wiege und unser Grab, diese ganze große Erde ist nur ein Punkt, den man selbst bereits von einem Theile der nächsten Hauptglieder der Sonnen-Familie, von einem Theile der übrigen Planeten, nicht einmal bemerkt. So klein, so ganz verschwindend erscheint uns, von jenem höheren Standpunkte betrachtet, das, was wir bisher das Größte nannten. Die Erde ist nichts gegen das Sonnensystem, dieses Sonnensystem ist nichts gegen den Weltraum, den wahrhaft zahllose ähnliche Systeme erfüllen.

Uebrigens ist die Aufgabe, die Wunder dieser Schöpfung nicht bloß anzustaunen, sondern in ihrer Wechselwirkung und in ihrem inneren Zusammenhange zu erkennen, keine leichte. Denn die Erscheinungen, welche uns der gestirnte Himmel darbietet, sind so mannigfaltig und so sonderbar in einander verschlungen, daß nur der vereinigte Scharfsinn der Besten einer jeden Zeit und eines jeden Volkes im Stande sein konnte, diese Verwickelungen zu lösen und in der scheinbaren Unordnung jene Einheit und Harmonie zu finden, welche noch immer die Werke der Natur, wo wir sie näher kennen lernten, ausgezeichnet haben. Es war ohne Zweifel mit ganz besonderen Schwierigkeiten verbunden, in diesem Gewirre von Komplikationen die Hauptursache derselben, die Bewegung der Erde, von der aus wir alle jene Phänomene zu betrachten gezwungen sind, zu erkennen und dadurch die bloß scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper von den wahren zu trennen, dann von der Kenntnis dieser wahren Bewegungen zu den Gesetzen überzugehen, nach welchen die Planeten in ihren Bahnen um die Sonne laufen, und endlich von diesen Gesetzen sich bis zu dem Prinzip der allgemeinen Gravitation zu erheben, zu jenem Grundgesetze des Himmels, durch welches alle jene so mannigfaltig verwickelten Erscheinungen auf die einfachste und vollständigste Weise dargestellt werden.

Um von den Schwierigkeiten, mit welchen die Lösung dieser Aufgabe verbunden ist, den Lesern schon hier einen Begriff zu geben, wollen wir bemerken, daß, wie wir in der Folge sehen werden, jeder Körper der Natur jeden anderen im Verhältnisse seiner Masse und verkehrt wie das Quadrat seiner Entfernung von demselben anzieht, und daß eben in diesem Gesetze das erwähnte Prinzip der allgemeinen Schwere besteht. Wenn bloß die Kraft der Sonne auf die Planeten wirkte, so würden die letzteren in rein elliptischen Bahnen um die Sonne gehen. Da aber diese Planeten selbst ebenfalls eine, wenngleich viel geringere Masse als die Sonne haben, so werden auch diese nach demselben allgemeinen Prinzip nicht nur gegen die Sonne, sondern auch gegen einander gravitieren, oder jeder Planet wird nicht bloß von der Sonne, sondern auch von allen übrigen Planeten zugleich angezogen werden, und die erwähnte einfache elliptische Bahn eines jeden wird jetzt, durch die gemeinsame Einwirkung aller Planeten unter einander, eine äußerst zusammengesetzte und verwickelte krumme Linie werden.

Während z. B. die Erde durch die bloße Einwirkung der Sonne in einer Ellipse von mehr als 930 Millionen Kilometer um dieselbe geführt wird, suchen sie alle anderen Planeten immerwährend aus dieser ihrer Bahn herauszuziehen. Nach den verschiedenen Lagen dieser Planeten zieht sie der eine näher zur Sonne, während sie der andere davon entfernt; dieser reißt sie auf ihrem Wege vorwärts, jener zurück; dieser erhebt sie über, jener zieht sie unter ihre ursprüngliche Bahn, und es ist leicht abzusehen, daß alle diese immerfort wirkenden Störungen nicht nur den Ort derselben in ihrer Bahn, sondern am Ende auch diese Bahn selbst verändern, daß sie ihren Einfluß auch auf die Größe, Gestalt und Lage dieser Bahn haben werden, und daß daher die Erde, allen diesen sie und einander selbst immer störenden Kräften preisgegeben, eigentlich in jedem Augenblicke eine andere, eine ganz neue krumme Linie um die Sonne beschreiben werde. Diese Verwirrung wird noch größer, wenn wir bedenken, daß alle astronomischen Bestimmungen der Orte, welche die Planeten am Himmel einnehmen, sich auf die Ebene der Bahn, welche die Erde um die Sonne beschreibt, oder auf die Ebene der Ekliptik beziehen, deren Verrückung die notwendige Folge hat, daß auch die Neigungen der übrigen Planetenbahnen und ihrer Durchschnittslinien mit der Ekliptik sich ändern würden, selbst wenn jene Planetenbahnen an sich unveränderlich wären, was sie doch nicht sind. Wie ferner die Umdrehung der Erde um ihre Achse die tägliche, wenngleich nur scheinbare Umwälzung des ganzen Sternenhimmels zur Folge hat, ebenso wird auch die geringste Verrückung in der Lage der Erdachse (und wir werden mehrere derselben kennen lernen) die ganze Sphäre des Himmels, den Anfangspunkt, von dem wir alle Distanzen und Winkel zählen, verrücken, alle Orte am Himmel verändern und aus dem letzten der Gestirne das erste, aus dem ersten das letzte machen. An diesem Himmel, an welchem wir früher nur Ordnung und Harmonie zu bewundern gewohnt waren, scheint also im Gegenteil alles in Unordnung und

Verwirrung zu sein, da in dem verwickelten Gewühle aller dieser sich durchkreuzenden Bewegungen sogar die Grenzsteine, nach welchen wir früher die große Karte des Sternengewölbes entwerfen wollten, sich verschieben und am Ende auch nicht ein einziger Punkt in Ruhe bleibt, durch den wir den seine Gestalt in jedem Augenblicke verändernden Proteus zu fesseln hoffen dürfen. Wir müssen ferner noch bedenken, daß wir all diese chaotischen Verwirrungen nicht von einem festen Standpunkte, sondern von der Erde beobachten, die sich selbst wieder täglich um ihre eigene Achse und jährlich um die Sonne bewegt, und die überdies mit einer dichten Lufthülle, der Ursache von unzähligen optischen Täuschungen, umgeben ist, durch welche wir kein einziges jener Gestirne an dem Orte erblicken, den es in der That am Himmel einnimmt.

Und doch enthält dies alles nur einen kleinen Teil der Hindernisse, welche bereits die Astronomie besiegt hat und in der Folge noch zu besiegen hoffen darf. Um aber den Weg kennen zu lernen, auf dem es möglich wurde, dieses erhabene Ziel, wenn auch nicht zu erreichen, so doch ihm so nahe zu kommen, als wir in der That gekommen sind, wird eine gewisse Vertrautheit mit denjenigen mathematischen Kenntnissen erfordert, auf welche jene astronomischen Betrachtungen gebaut sind, und ohne welche sich die meisten derselben wenigstens nicht mit jener Präzision und Ueberzeugung vortragen lassen, die einen großen Teil ihres innern Wertes ausmachen. Wie viele von den schönsten astronomischen Entdeckungen sind der Art, daß sie ohne mathematische Vorkenntnisse nicht einmal gehörig verstanden werden können, und wie viele andere sind so wunderbar und auffallend, so allen Erfahrungen des gewöhnlichen Lebens widersprechend, daß sie von einem wohl organisierten Kopfe unmöglich auf Treu und Glauben angenommen werden können! Wie soll man z. B. den Astronomen auf ihr bloßes Wort hin glauben, daß die Sonne gegen ein und ein Viertel Millionen mal größer als unsere Erde und 150 Millionen Kilometer von uns entfernt ist; daß der nächste Fixstern wenigstens zweihunderttausendmal weiter als die Sonne von uns absteht; daß das Licht mit einer Geschwindigkeit begabt ist, mit welcher es, während wir unsere Augenlider senken und heben, schon die Reise um die Welt zurücklegt, und daß selbst diese unglaubliche Geschwindigkeit noch gegen jene ganz verschwindet, mit welcher die Kraft der Sonne, durch die sie die Planeten um sich treibt, in einem unteilbaren Momente bis an die fernsten Grenzen unseres Planetensystems eilt? Wer hat diese Größe der Sonne, diese Entfernung der Fixsterne, diese Geschwindigkeit des Lichts und die jener magischen Kraft gemessen, und wie war es nur möglich, zu Kenntnissen dieser Art zu gelangen? — Die Geometrie allein kann diese Fragen lösen; ohne ihre Hilfe würden sie immer ungelöst bleiben.

Man muß es beklagen, daß die mathematischen Wissenschaften noch immer keinen wesentlicheren Teil unserer Erziehung und selbst unserer späteren Bildung ausmachen. Die meisten selbst von denjenigen, welche auf vielseitiges Wissen

und sogar auf eigentliche Gelehrsamkeit gerechten Anspruch machen, die mit Stolz auf den Vorrat ihrer gesammelten Kenntnisse sehen und Unwissenheit jeder Art für ein Verbrechen halten, die meisten von diesen stehen doch gar nicht an, so oft zufällig die Rede auf die mathematischen Wissenschaften kommt, ihre völlige Unkenntnis als eine ganz erlaubte Sache, die sich gleichsam von selbst versteht, mit einer Offenheit, mit einer Naivetät zu bekennen, die man für Scherz halten müßte, wenn sie nicht gewöhnlich gleich darauf von Fragen und Äußerungen begleitet würde, die eine Art von Entsetzen erregen und die Wahrheit jenes Geständnisses nur zu sehr bestätigen.

Abgesehen von der Notwendigkeit dieser Kenntnisse im wissenschaftlichen und oft selbst im gemeinen Leben, abgesehen davon, daß ohne sie das schönste und dem Menschen angemessenste Studium, das der Natur im großen, beinahe unmöglich ist, so sollte schon der wohlthätige Einfluß, welchen die Kultur dieser Wissenschaften auf die Bildung des menschlichen Geistes überhaupt äußert, uns bestimmen, ihnen in dem Felde unserer öffentlichen Erziehung eine der ersten Stellen anzuweisen. Welche andere Doktrin bietet diese Bestimmtheit der Begriffe, diese strenge Ordnung der Schlüsse, diese Gewißheit ihrer Beweise dar? Durch sie erfährt man erst, was eine Demonstration ist und welche Kraft ihr inwohnt. Durch sie wird der Geist zur Aufnahme aller wahren Erkenntnisse, zur Bekämpfung der Vorurteile und Irrtümer, zur Entfernung aller Illusionen und halb verstandenen Annahmen und zur Verwerfung aller nicht auf eigene Überzeugung gegründeten Autorität würdig vorbereitet; und wenn überhaupt dem Menschen gegönnt ist, von Wahrheit zu sprechen, so ist es namentlich hier, wo er sie finden kann. Endlich, und dies möchte in unseren Tagen nicht zu übersehen sein, bietet diese Wissenschaft, als die beste Disziplin des menschlichen Geistes, unserer Jugend und durch sie den kommenden Geschlechtern die angemessenste Gelegenheit dar, ihr geistige Kraft zu üben und ihren Sinn für das Höchste, was uns angeht, für Recht und Wahrheit, zu wecken und zu stählen, um dem sie von allen Seiten umgebenden Andrange eines kränkelnden und in sich selbst zerfallenen Zeitgeistes zu widerstehen, dessen Fortschritte eine männliche und kraftvolle Anhänglichkeit an das Gute überall zu einem sehr dringenden Bedürfnis gemacht haben.

Zu diesem Zwecke aber, so wie zu allen den oben erwähnten, ist keineswegs eine vollständige, eine alle Höhen und Tiefen umfassende Kenntnis jener Wissenschaften notwendig. Diese kann überhaupt nicht jedermanns Sache und daher auch kein Gegenstand einer allgemeinen Erziehung sein. Sie mag immerhin wie bisher jenen Wenigen überlassen bleiben, die Kraft und Mut genug besitzen, das Innere des erhabenen Baues zu betreten und vielleicht selbst mit eigener Hand zur Bereicherung oder Ausschmückung desselben beizutragen. — Wir wollen uns begnügen, mit unseren Lesern das Äußere desselben und, wo es angeht, den Vorhof oder, wenn wir auch ihn selbst nicht sehen können,

wenigstens den Grundriß desselben zu betrachten, wie er uns von den Architekten überliefert worden ist.

Allein auch dazu werden noch immer einige jener Vorkenntnisse erfordert, wenige in der That und leicht zu erwerbende, die wir aber dafür desto dringender von unseren Lesern, nicht sowohl zu unserem als vielmehr zu deren eigenem größten Vorteile in Anspruch nehmen möchten. Wie wir nämlich, in einem fremden Lande nur dann mit Vorteil und Vergnügen zu reisen hoffen dürfen, wenn wir zuerst die Sprache der Eingeborenen desselben wenigstens einigermaßen kennen gelernt haben, ebenso willkommen und nützlich wird uns auch hier wenigstens einige Vertrautheit mit der Sprache des Landes sein, welches wir nun zu durchreisen im Begriffe stehen. Haben sich doch alle, selbst die bloß mechanischen Künste, ja sogar die Handwerke, sobald sie einen gewissen Grad der Vollkommenheit erreichten, ihre eigene Sprache gebildet; wie sollte dasselbe nicht auch von der Astronomie gelten? — Allerdings würden wir diese Sprache während der Reise selbst, so oft wir durch die Not dazu gezwungen werden, auch erlernen können. Aber dies würde offenbar nicht ohne Beschwerde, nicht ohne vieles Hin- und Widerreden möglich sein.

Die nachstehende zweite Abteilung dieser Einleitung ist daher dem Zwecke gewidmet, die geneigten Leser in aller Kürze mit den Elementen der Sprache der Astronomie bekannt zu machen, mit der Bitte sie möchten diese ersten Blätter mit einiger Aufmerksamkeit und selbst wiederholt und mit dem Vertrauen lesen, daß ihnen eben dadurch der Genuß des Ganzen ungemein erleichtert, ja eigentlich erst möglich gemacht werde. Um übrigens die Bedeutungen der wenigen Kunstausdrücke, die wir hier nebst ihrer Erklärung zusammenstellen, dem Gedächtnisse tiefer einzuprägen und zugleich die Anführung derselben in der Folge zu erleichtern, sind sie, nach Art des mathematischen Vortrags, unter eigene Nummern gebracht worden.

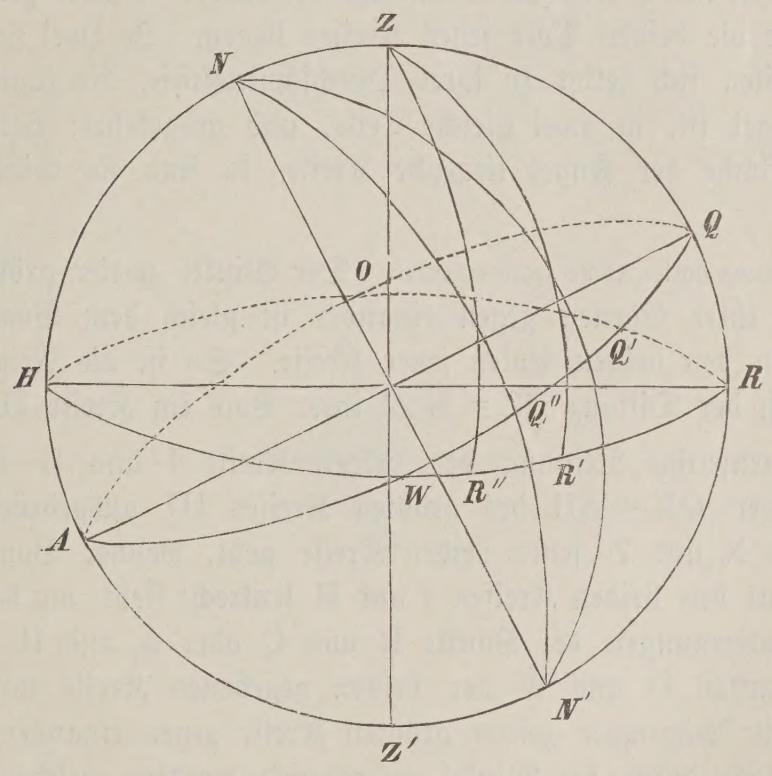
---

§ 1. (Kreise auf der Oberfläche einer Kugel.) Jede Ebene durch eine Kugel schneidet die Oberfläche der Kugel in einem Kreise. Geht die schneidende Ebene durch den Mittelpunkt der Kugel, so nennt man den durch ihren Schnitt entstehenden Kreis einen *größten Kreis* der Kugel. Wir betrachten hier zuerst nur solche größte Kreise. Dergleichen sind (Fig. 1): AWQO, HWRO und ANQN', welche wir kürzehalber im folgenden der Reihe nach I, II und III nennen wollen.

Uebrigens wird, wie bekannt, die Peripherie eines jeden Kreises gewöhnlich in 360 gleiche Teile, die man Grade nennt, geteilt. Jeder Grad hat 60 *Minuten* und jede Minute 60 *Sekunden*. Man bezeichnet diese Teile in der angeführten Ordnung durch ^{0} ' ", so daß z. B. 45^0 13' 20" ebenso viel heißt als 45 Grad, 13 Minuten und 20 Sekunden.

Diese Einteilung des Kreises nennt man die Bogen-Teilung. Eine andere, in der Astronomie häufig vorkommende und in das gemeine Leben übertragene Teilung des Kreises ist die nach Zeit. Hier wird der ganze Umfang in 24 gleiche Teile, deren jeder eine Stunde heißt, geteilt; jede Stunde zerfällt in 60 Minuten, jede Minute in 60 Sekunden; die beiden letzten werden zum Unterschiede von den früheren, den sogenannten Bogen- oder Raum-Minuten und -Sekunden: Zeit-Minuten und -Sekunden genannt. Diese Kreisteilung wird mit $^{h\,m\,s}$ bezeichnet. Man sieht, daß eine gegebene Anzahl Stunden, Zeitminuten und Zeitsekunden durch Multiplikation mit 15 in Grade, Bogenminuten und Bogensekunden verwandelt wird; umgekehrt gibt die Division durch 15 die einer gewissen Anzahl Grade, Bogenminuten, Bogensekunden entsprechende Anzahl Stunden, Zeitminuten und Zeitsekunden.

Fig. 1.



§ 2. (Verhalten größter Kugelkreise gegen einander.) Derjenige Durchmesser einer Kugel, der auf der Ebene eines größten Kreises senkrecht steht, heißt die Achse dieses Kreises, und die beiden Endpunkte dieses Durchmessers sind die Pole jenes Kreises. Die Achse eines Kreises geht daher immer durch den Mittelpunkt desselben, und jeder Pol ist von allen Punkten der Peripherie seines Kreises auf der Kugel um 90^0 oder um einen rechten Winkel entfernt.

So sind NN' die Achse, N und N' die Pole des Kreises I, und ebenso sind ZZ' die Achse, Z und Z' die Pole des Kreises II.

Jeder größte Kreis, der durch den Pol eines gegebenen größten Kreises geht,

geht auch durch den andern Pol des gegebenen Kreises, und die Ebenen beider Kreise stehen auf einander senkrecht.

So gehen alle durch den Pol N gezogenen Kreise NQ, NQ', NQ'' . . auch durch den Pol N', und alle diese Kreise stehen senkrecht auf I, oder die Winkel der Bogen NQ, NQ', NQ'' . . mit dem Bogen QW sind rechte Winkel. Ebenso stehen alle durch Z gehenden Kreise ZR, ZR', ZR'' . . senkrecht auf II, und der durch N und durch Z gehende Kreis III steht daher senkrecht auf I sowohl als auch auf II.

Stehen ebenso umgekehrt zwei Kreise auf einander senkrecht, so liegen die Pole des einen in der Peripherie des anderen. Sind also die Kreise NQ, NQ' . . auf I senkrecht, so liegen die Pole aller dieser Kreise in der Peripherie von I, und sind die Kreise ZR, ZR' . . auf II senkrecht, so liegen alle Pole dieser Kreise irgendwo in der Peripherie von II.

Jeder größte Kreis teilt die Oberfläche der Kugel in zwei gleich große Teile, in deren Mitte die beiden Pole jenes Kreises liegen. Je zwei größte Kreise der Kugel aber teilen sich selbst in ihrer Durchschnittslinie, die zugleich ein Durchmesser der Kugel ist, in zwei gleiche Teile, und umgekehrt: halbieren sich zwei auf der Oberfläche der Kugel liegende Kreise, so sind sie beide größte Kreise derselben.

§ 3. (Neigung zweier Kreise gegen einander.) Der Winkel zweier größten Kreise d. h. die Neigung ihrer Ebenen gegen einander ist gleich dem Bogen des größten Kreises zwischen den beiden Polen jener Kreise. So ist die Neigung der Kreise I und II gleich der Distanz $NZ = N'Z'$ ihrer Pole im Kreise III.

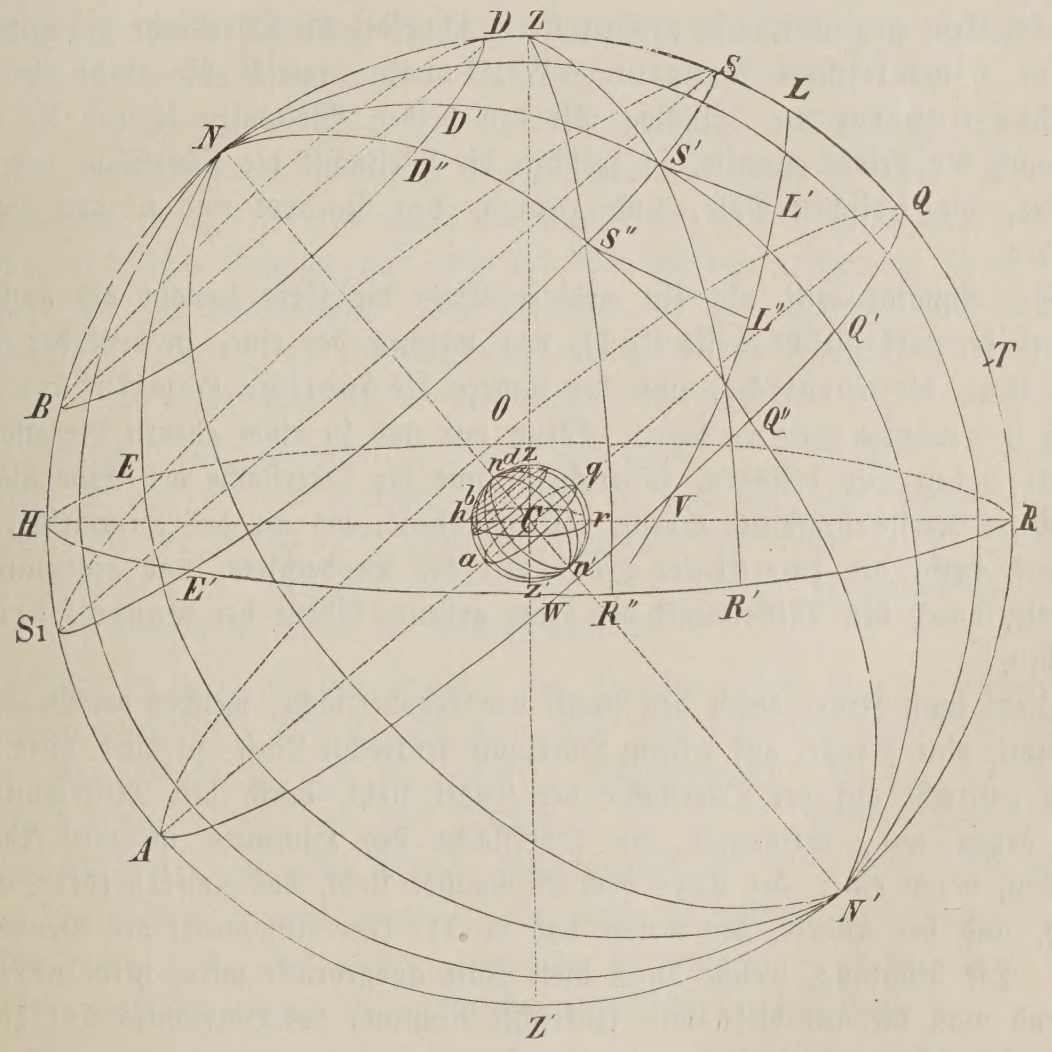
Diese gegenseitige Neigung der beiden Kreise I und II kann aber auch durch den Bogen $QR = AH$ des größten Kreises III ausgedrückt werden, der durch die Pole N und Z jener beiden Kreise geht, welcher Bogen daher, nach dem obigen, auf den beiden Kreisen I und II senkrecht steht, wo dann die Winkel- oder Bogen-Entfernungen der Punkte R und Q oder A und H von den beiden Durchschnittspunkten O und W der beiden gegebenen Kreise immer gleich 90^0 sind. Dieselben Neigungen zweier größten Kreise gegen einander können endlich auch ganz einfach durch die Winkel ausgedrückt werden, welche die Peripherien dieser Kreise in ihren Durchschnittspunkten unter sich bilden. So ist $RWQ = AWH$ die gegenseitige Neigung der beiden Kreise I und II. Ebenso wird die Neigung der Kreise NQ' und NQ'' gegen einander durch den Winkel Q'NQ'' oder durch den auf ihnen senkrecht stehenden Bogen Q'Q'' des größten Kreises I ausgedrückt, und die Neigung der Kreise ZR' und ZR'' gegen einander ist der Winkel R'ZR'' oder auch der Bogen R'R'' des auf ihnen senkrecht stehenden Kreises II. Weil man so Bogen und Winkel beliebig mit einander verwechseln kann, so nennt man den auf zwei größten Kreisen senkrechten, also von deren Durchschnitte 90^0 abstehenden Bogen das Maß des zwischen den beiden größten

Kreisen enthaltenen Winkels, ganz so wie man den zwischen zwei Halbmessern enthaltenen Winkel durch den entsprechenden Kreisbogen mißt.

Alle diese Sätze sind zwar Gegenstände der Geometrie und können, als solche, streng bewiesen werden; sie sind aber auch zugleich der Art, daß sie für Leser von einiger Fassungskraft gleichsam schon für sich klar, besonders wenn wir sie mit Hilfe eines Globus (§ 114) betrachten.

§ 4. (Himmlische und irdische Kreise.) Wenden wir nun das Gesagte sofort auf diejenigen Kreise an, welche die Astronomen auf der Oberfläche des Himmels und der Erde gezogen haben, um dadurch die Lage einzelner Punkte dieser Flächen näher bestimmen zu können, und nehmen wir dazu den Himmel ANQN, (Fig. 2) so wie er uns in der That erscheint, als eine hohle Kugelschale an, deren

Fig. 2.



Mittelpunkt C zugleich der Mittelpunkt der ebenfalls kugelförmigen Erde anqn' ist. Dies vorausgesetzt, wird also jede Ebene, welche durch den Mittelpunkt C beider Kugeln geht, den Himmel sowohl als auch die Erde (nach § 1) in einem größten Kreise schneiden, von welchem man den einen den himmlischen und den

andern den ihm entsprechenden irdischen Kreis nennt. Solche zusammengehörende Kreis-Paare sind:

AWQO und aq
HWRO und hr
ANQN' und anqn'

§ 5. (Weltachse, Weltpole, Äquator.) Wenn man die Sterne des Himmels auch nur kurze Zeit beobachtet, so bemerkt man, daß sie sich alle täglich, und zwar so um die Erde bewegen, als ob sich die ganze Himmelssphäre um eine Achse drehte, die durch den Mittelpunkt C der Erde geht. Ist NCN' diese fixe Drehungsachse des Himmels oder die sogenannte Weltachse, so nennt man die beiden Endpunkte derselben N und N' die Weltpole, und zwar den in unseren Gegenden sichtbaren oder dem Zenithe Z näheren N den Nordpol und den andern entgegengesetzten N' den Südpol. Ein auf die Weltachse senkrecht durch den Mittelpunkt der Erde gehender, also größter Kreis schneidet die Oberfläche des Himmels in dem himmlischen Äquator AWQO und zugleich die Erde in dem irdischen Äquator aq. Analog mit den beiden Weltpolen N und N' nennt man auch die beiden Punkte, in welchen die Weltachse die Oberfläche der Erde schneidet, die irdischen Pole, und zwar n den Nordpol und n' den Südpol der Erde.

Der Äquator teilt als ein größter Kreis die Erde sowohl als auch den Himmel in zwei gleiche Teile (§ 1), von welchen der eine, in dem der Nordpol N liegt, die nördliche, und der andere die südliche Hemisphäre heißt.

§ 6. (Horizont, Zenith und Nadir.) Wenn wir uns in einer ebenen Gegend oder auf der hohen See befinden, so erscheint uns die Oberfläche der Erde als eine von einem Kreise begrenzte Ebene. Diese Ebene, bis an das Himmelsgewölbe erweitert, heißt der scheinbare Horizont des Beobachters, und eine mit ihm parallele, durch den Mittelpunkt der Erde gehende Ebene der wahre Horizont desselben.

Zieht man ferner durch den Punkt der Erdoberfläche, welchen der Beobachter einnimmt, eine gerade, auf seinem Horizonte senkrechte Linie, so wird diese Linie, da sie senkrecht auf der Oberfläche der Kugel steht, durch den Mittelpunkt der Erde gehen und, verlängert, die Oberfläche des Himmels in zwei Punkten schneiden, deren einer, der über dem Beobachter steht, das Zenith (der Scheitelpunkt), und der andere, der untere das Nadir (der Fußpunkt) des Beobachters heißt. Die Richtung, welche durch diese Linie ausgedrückt wird, heißt vertikal, während man die auf diese Linie senkrechte Richtung des Horizontes horizontal (wagerecht oder wasserrecht) zu nennen pflegt.

Da die Richtung eines mit einem Bleilote versehenen Fadens auf der Oberfläche des still stehenden Wassers senkrecht steht, so wird der Faden in diesem Zustande jene senkrechte Richtung angeben, so wie durch die Oberfläche des stille stehenden Wassers die horizontale Richtung angezeigt wird.

Denkt man sich den Beobachter auf dem obersten Punkte z der Oberfläche der kugelförmigen Erde, so wird der Durchmesser zCz', verlängert, am Himmel das Zenith Z und das Nadir Z' des Beobachters bestimmen. Der auf diesem Durchmesser senkrechte größte Kreis hr aber wird, bis an die Himmelssphäre erweitert, den wahren Horizont HWRO des Beobachters angeben, während der mit ihm parallele, durch den Punkt z gelegte Kreis den scheinbaren Horizont des Beobachters bezeichnet.

Diesem gemäß ist also die Linie ZZ' die Achse, und die Punkte Z und Z' sind die Pole des wahren Horizontes (§ 2). Durch diesen Horizont HWRO wird die Oberfläche des Himmels in zwei gleiche Teile geteilt (§ 2), von welchem der eine, der obere, in welchem das Zenith Z liegt, die *sichtbare* und der andere, untere, die *unsichtbare Hemisphäre* genannt wird, weil in der That nur diejenigen Gestirne, die sich in der oberen Hälfte des Himmels, oder die sich über unserem Horizonte befinden, für uns sichtbar, die andern aber unsichtbar sind, weil sie für uns von der unter uns stehenden Erde bedeckt werden.

§ 7. (Meridian, Mittagslinie, Kardinalpunkte des Horizontes.) Derjenige größte Kreis NZRA, der durch den Nordpol N des Äquators und durch das Zenith Z des Beobachters in z, also auch durch die Punkte N' und Z' geht, und daher (§ 2) sowohl auf dem Äquator als auch auf dem Horizonte senkrecht steht, heißt der *Meridian* des Beobachters. Der Meridian ist also zugleich Deklinations- und Höhenkreis, schneidet die Oberfläche der Erde in dem irdischen Meridiane nzra und wird als Ausgangspunkt verschiedener Winkelzählungen (§§ 8, 9) genommen.

Meridian und Horizont halbieren sich (§ 2) in ihren beiden Durchschnittspunkten R und H, von welchen der eine R, der von dem Nordpole N weiter entfernt ist, der *Südpunkt* oder *Mittag* und der andere H der *Nordpunkt* oder *Mitternacht* genannt wird. Der beide Punkte verbindende Durchmesser HCR des Horizontes heißt die *Mittagslinie*.

Eben so halbieren sich Äquator und Horizont (§ 2) in zwei Punkten O und W, von welchen der erste O, der dem nach Süd sehenden Beobachter links liegt, *Ost* oder *Morgen* und der andere, entgegengesetzte W *West* oder *Abend* genannt wird. Durch diese vier Punkte H, O, R, W, welche *Kardinalpunkte des Horizontes* genannt werden, wird derselbe in vier gleiche Teile geteilt.

Der Meridian teilt ebenfalls die ganze Oberfläche des Himmels in zwei gleiche Teile (§ 2), von welchen der eine, in welchem der Ostpunkt O liegt, die *östliche* und der andere die *westliche Hemisphäre* genannt wird.

§ 8. (Vertikalkreise, Höhe und Azimuth der Sterne.) Die größten Kreise ZR, ZR', ZR'' . ., welche durch das Zenith Z und das Nadir Z' gehen und daher auf dem Horizonte senkrecht stehen (§ 2), heißen *Vertikal-* oder *Höhenkreise*.

Die Entfernung eines Punktes des Vertikalkreises von dem Horizonte oder der Bogen des Vertikalkreises, der zwischen jenem Punkte und dem Horizonte

enthalten ist, heißt seine Höhe, und die Entfernung dieses Punktes von dem Zenithe Z seine Zenithdistanz. Höhen und Zenithdistanzen ergänzen also einander immer zu 90°. Es sind daher die Bogen RS, R'S' und R"S" die Höhen der drei Sterne S, S' und S", und ebenso sind die Bogen ZS, ZS' und ZS" die Zenithdistanzen derselben.

Da ferner der Horizont auf allen Höhenkreisen senkrecht steht, wird man die Abstände derselben von dem Meridiane, als von dem ersten Höhenkreise (§ 7) durch die zwischen ihnen liegenden Bogen des Horizonts oder, was (nach § 3) dasselbe ist, durch ihre Neigungswinkel gegen den Meridian am Zenithe Z messen. Man nennt diese Abstände der Höhenkreise von dem Meridiane Azimuthe und zählt auch sie von Süd gen West bis 360°. So ist R'R = RZR' das Azimuth des Sterns S', und RR" = RZR" das Azimuth des Sterns S" u. s. f.

Die soeben besprochenen Kreise oder Ebenen sind sehr geschickt, die Lage der Gestirne oder den Ort, welchen diese am Himmel einnehmen, festzulegen, indem man dazu nur deren Azimuth und Höhe für eine bestimmte Zeit anzugeben braucht. Ist z. B. das Azimuth RR" und die Höhe R"S" des Sterns S" gegeben, so ist dadurch auch sofort sein Ort am Himmel bestimmt.

§ 9. (Deklinations- oder Stundenkreise, Deklination, Stundenwinkel.) Die größten Kreise, NQ, NQ', NQ" ...., welche durch den Nordpol N, also auch durch den Südpol N' gehen und daher (§ 2) auf dem Äquator senkrecht stehen, heißen Deklinations- oder Stundenkreise, und der Bogen des Deklinationskreises, der zwischen dem Äquator und einem Stern enthalten ist, heißt des Sternes Deklination oder Abweichung. So sind die Bogen QS, Q'S' und Q"S" die Deklinationen der Sterne S, S' S". Ist der Stern unter dem Äquator oder in der südlichen Hemisphäre (§ 5), so wird seine Deklination südlich genannt oder auch mit dem negativen Zeichen (−) versehen, weil sie vermöge ihrer Lage auf der anderen Seite des Äquators im Sinne der Geometrie, den nördlichen als positiv (+) betrachteten Deklinationen gegenüber als negativ bezeichnet werden müssen. Auch nennt man die Entfernungen NS, NS', NS" ... der Gestirne von dem Nordpole N des Äquators die Poldistanzen dieser Sterne.

Deklinationen und Poldistanzen ergänzen daher einander immer zu 90°, indem für Sterne unter dem Äquator die Poldistanzen größer als 90° sind. Da der Äquator auf allen Stundenkreisen senkrecht steht, wird man die Abstände derselben von dem Meridian, als von dem ersten Stundenkreise (§ 7), durch die zwischen ihnen liegenden Bogen des Äquators oder, was (nach § 3) dasselbe ist, durch ihren Neigungswinkel gegen den Meridian am Nordpole N messen. Man nennt diese Abstände der Stundenkreise von dem Meridian Stundenwinkel und zählt sie in der Richtung von Q gen W oder von Süd gen West bis 360° oder auch bis 24 Stunden (§ 1). So ist QQ' = QNQ' der Stundenwinkel des Sterns S', und QQ" = QNQ" der Stundenwinkel des Sterns S" u. s. f.

Ebenso wie Azimuth und Höhe, sind auch Stundenwinkel und Deklination

sehr geeignet, den Ort eines Sterns am Himmel für eine gewisse Zeit anzugeben. Ist nämlich der Stundenwinkel QQ'' und die Deklination Q''S'' des Gestirnes S'' bekannt, so ist dadurch auch sofort sein Ort S'' am Himmel bestimmt.

Ist dieses Gestirn S' die Sonne, so pflegt man auch den Stundenwinkel QQ' = QNQ' derselben die wahre Sonnenzeit des Beobachters z zu nennen. Wenn die Sonne durch den oberen Teil des Meridians NQ geht, oder wenn sie kulminiert, so ist der Stundenwinkel derselben oder die wahre Zeit des Beobachters Null, oder der Beobachter hat eben Mittag. Wenn die Sonne durch den unteren, unsichtbaren Teil HZ' des Meridians geht oder in ihrer unteren Kulmination steht, so ist der Stundenwinkel der Sonne oder die wahre Zeit des Beobachters 12 Uhr, oder der Beobachter hat eben Mitternacht. Wir werden später (I. Abt. § 94) auf diese Zeitrechnung zurückkommen.

§ 10. (Rektascension und Deklination.) Die zwei vorhergehenden Bestimmungsarten haben den Nachteil, daß sie dem Gestirne nicht unverändert für alle Zeiten zukommen, selbst wenn dieses keine eigene Bewegung hat. In der That ändern alle Gestirne durch die tägliche Bewegung des Himmels um die Achse NN' ihre Lage gegen den Horizont sowohl als auch gegen den Meridian in jedem Augenblicke, so daß man also, um eine vollständige Bestimmung ihres Ortes zu erhalten, nebst Azimuth, Höhe und Stundenwinkel auch noch die Zeit angeben müßte, für welche jene Bestimmungen statthaben sollen. Endlich ändert sich der Horizont sowohl als auch der Meridian, sobald der Beobachter z seinen Ort auf der Oberfläche der Erde ändert, weshalb jene Zeit überdies stets nur für einen bestimmten Ort gilt.

Von diesen Nachteilen frei ist die Bestimmung der Gestirne, wenn man sie bloß auf den Äquator bezieht, weil dieser durch die tägliche Bewegung des Himmels in seiner Lage gegen die Oberfläche des Himmels selbst keine Änderung erleidet.

Zu diesem Zwecke nimmt man einen festen Punkt V des Äquators an, den man den Frühlingspunkt nennt, und zählt von ihm in der Richtung VQO oder von Süd gen Ost die Abstände der Stunden- oder Deklinations-Kreise (§ 9). Diese Abstände, welche man Rektascensionen oder gerade Aufsteigungen nennt, geben, wenn man sie mit den bereits oben (§ 9) erwähnten Deklinationen verbindet, die gesuchte einfache und vollständige Ortsbestimmung des Sterns. Ist z. B. die Rektascension VQ'' und die Deklination Q''S'' eines Sterns S'' gegeben, so ist dadurch auch der Ort S'' des Sterns am Himmel bestimmt, und diese Bestimmung ist unabhängig von der Zeit, da sie immer dieselbe bleibt, wie sich auch der Himmel um seine Achse NN' drehen und von welchem Punkte der Oberfläche der Erde man auch das Gestirn betrachten mag, wenn nur das letzte seinen Ort selbst am Himmel nicht ändert.

§ 11. (Länge und Breite.) Die Astronomen legen durch den Punkt V, und durch den Mittelpunkt C der Erde unter einem bestimmten Winkel von $23^1/_2{}^0$ gegen den

Äquator noch eine andere Ebene, welche daher die Oberfläche des Himmels wieder in einem größten Kreise VL"L' schneidet, den man die Ekliptik nennt.

Sie gebrauchen dieselbe auf eine ähnliche Weise wie den Äquator zur Bestimmung der Lage der Gestirne. Läßt man nämlich von den Punkten S' und S" die Bogen S'L' und S"L" senkrecht auf die Ekliptik herab, wo also die Kreise dieser Bogen durch die beiden Pole der Ekliptik gehen müssen (§ 2), so wird auch der Ort eines jeden Gestirns S' vollständig gegeben sein, wenn die beiden Bogen VL' und L'S' gegeben sind. Man nennt aber VL' die Länge und L'S' die Breite des Sterns S'. Ebenso ist VL" die Länge und L"S" die Breite des Sternes S". Ist das Gestirn unter der Ekliptik, so wird die Breite desselben südlich oder auch negativ genannt.

Der Kreis VL'L" oder die Ekliptik ist derjenige größte Kreis am Himmel, in welchem wir jährlich die Sonne einhergehen sehen. Der Punkt V, in welchem sie den Äquator schneidet und von welchem man, wie gesagt, alle Rektascensionen und alle Längen zählt, ist der Frühlingspunkt, und der ihm am Himmel gegenüberstehende der Herbstpunkt; beide zusammen aber bilden die Äquinoktial- oder die Nachtgleichenpunkte. Die zwischen den Äquinoktialpunkten in der Mitte liegenden Punkte der Ekliptik sind die Solstitien, Tropen oder Wendepunkte, und zwar derjenige, welcher am höchsten über dem Äquator, in der nördlichen Hemisphäre (§ 5) steht, das Sommer- und der andere, entgegengesetzte unter dem Äquator das Winter-Solstitium. Der Neigungswinkel QVL der Ekliptik gegen den Äquator heißt die Schiefe der Ekliptik.

Bemerken wir noch, daß die früheren Astronomen die Ekliptik nicht in 360° wie alle übrigen Kreise, sondern in 12 sogenannte Zeichen geteilt haben, deren jedes 30° enthielt. Diese Zeichen benannten sie nach den 12 Sternbildern, welche den ganzen Umkreis der Ekliptik einnehmen, und die, mit ihren eigenen Charakteren, in der Ordnung, wie sie von dem Frühlingspunkte gen Ost auf einander folgen, nachstehend verzeichnet sind:

Widder ♈	0°	bis	30°	Wage ♎	180°	bis	210°
Stier ♉	30	=	60	Skorpion ♏ . . .	210	=	240
Zwillinge ♊ . . .	60	=	90	Schütze ♐	240	=	270
Krebs ♋	90	=	120	Steinbock ♑ . . .	270	=	300
Löwe ♌	120	=	150	Wassermann ♒ .	300	=	330
Jungfrau ♍ . .	150	=	180	Fische ♓	330	=	360.

Man kann sich die Aufeinanderfolge dieser Zeichen der Ekliptik leicht durch die bekannten Verse dem Gedächtnis einprägen:

Sunt: Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo,
Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces.

Die Alten drückten die Länge der Sonne und überhaupt aller Himmelskörper durch diese Zeichen so aus, daß sie z. B. eine Länge von 136° durch ♌ 16°, das heißt durch den 16. Grad des Löwen bezeichneten. Wenn man diese

Zeichen mit den Sternbildern der Ekliptik, wie sie auf dem Globus erscheinen, vergleicht, so wird man diese Sternbilder alle um ein Zeichen oder nahe um 30° weiter gegen Osten erblicken, so daß z. B. das Sternbild des Widders nicht den Raum des ersten, sondern den des zweiten Zeichens, u. s. f. einnimmt: eine sehr merkwürdige Verschiedenheit, auf welche wir später (I, § 53) zurückkommen werden.

§ 12. (Geographische Länge und Breite des Beobachters.) Um den Ort des Beobachters z auf der Oberfläche der Erde gegen den irdischen Meridian aq (§ 4) zu bestimmen, kann man auf eine ähnliche Art, wie bei der Bestimmung der Lage eines Gestirnes am Himmelsgewölbe, verfahren.

Wir haben oben (§ 7) gesehen, daß der irdische Meridian eines Ortes z der Erde, derjenige größte Kreis derselben ist, der durch diesen Ort z, und durch einen, somit auch durch den anderen der beiden Pole n und n' des Erdäquators geht. Solcher irdischen Meridiane gibt es daher so viele, als es Punkte des Äquators gibt. Man nimmt von diesen unzähligen Meridianen willkürlich einen derselben, z. B. den, der durch die Sternwarte Greenwich geht, als den ersten irdischen Meridian und zählt von ihm die Abstände aller übrigen östlich und westlich bis 180° oder bloß östlich bis 360°. Die Abstände der übrigen Meridiane von dem gewählten ersten nennt man die *geographische Länge* dieser Meridiane. Alle Orte der Erde, welche in demselben Meridiane liegen, haben also auch dieselbe geographische Länge. Um nun diese Orte von einander zu unterscheiden, gibt man noch den Abstand derselben von dem Äquator an, den man die *geographische Breite* des Ortes zu nennen pflegt. Liegt der Ort in der südlichen Hemisphäre der Erde (§ 5), so heißt auch die geographische Breite desselben südlich.

Die Lage eines Ortes auf der Erde ist also vollkommen bestimmt, wenn die geographische Länge und Breite desselben gegeben ist, und diese Bestimmung ist analog mit der (§ 10), durch welche man die Lage der Gestirne gegen den Äquator, durch Rektascension und Deklination derselben, anzugeben pflegt. So hat z. B.:

Paris Länge	2°	20′	15″	östlich	von	Greenwich	Breite	48°	50′	13″	nördl.
Wien	= 16	20	22	=	=	=	=	48	12	36	=
Peking	= 116	28	19	=	=	=	=	39	54	13	=
Quito	= 281	10	0	östl. oder 78° 50′ 0″ westl.			=	0	14	0	südl.

§ 13. (Äquatorhöhe und Polhöhe des Beobachters.) Die Neigung des Äquators AWQ gegen den Horizont HWR wird (nach § 3) durch den zwischen diesen Ebenen enthaltenen Bogen QR = AH des Meridians, oder auch durch die gegenseitige Distanz NZ = N'Z' der Pole jener beiden Ebenen, oder endlich ganz einfach durch den Winkel QWR = QOR ausgedrückt. Man nennt die Neigung QR = NZ = QWR die *Äquatorhöhe* des Beobachters z, weil (nach § 8) der Bogen QR die *Höhe* des höchsten Punktes Q des Äquators ausdrückt.

Da die Summe der Bogen HN und NZ, so wie die Summe RQ und QZ gleich 90° ist, und da RQ gleich NZ ist, so muß auch QZ gleich HN sein. Man nennt diesen Bogen QZ = HN auch die Polhöhe des Beobachters z, weil

(nach § 8) der Bogen HN die Höhe des Nordpols N des Äquators über dem Horizonte ausdrückt. Man sieht, daß Pol- und Äquatorhöhe zusammen einem rechten Winkel gleich kommen, oder daß diese beiden Größen einander zu 90^0 ergänzen.

Ganz ebenso ist also auch auf der Oberfläche der Erde der Bogen hn gleich dem Bogen qz, weil jeder derselben eben so viele Grade enthält als die Bogen HN oder QZ. Daraus folgt, daß die Polhöhe HN eines Beobachters z immer gleich ist der Entfernung qz seines Ortes z von dem irdischen Äquator aq, d. h. jener Größe, die wir im vorigen Paragraph als geographische Breite bezeichneten.

§ 14. (Parallelkreise, Almukantharate.) Alle bisher betrachteten Kreise sind größte Kreise der Kugel oder solche, deren Mittelpunkt zugleich jener der Kugel selbst ist. Allein zuweilen fordern auch die kleineren Kreise derselben eine nähere Betrachtung.

Wenn sich der Himmel in der That, wie wir bisher vorausgesetzt haben, täglich in der Richtung von Ost nach West um die Weltachse NN' dreht, so wird während dieser Drehung jeder Stern einen Kreis beschreiben müssen, dessen Ebene senkrecht auf dieser Achse, und dessen Mittelpunkt auch irgendwo in dieser Achse liegt. Wegen dieser, allen gemeinschaftlichen, senkrechten Stellung dieser Kreise gegen die Weltachse werden sie also unter einander parallel sein, daher man sie Parallelkreise genannt hat. Die Peripherie dieser Kreise steht in allen ihren Punkten von jedem Punkte der Achse, also auch von jedem einzelnen Weltpole N oder N' gleich weit ab. Der größte aller dieser Parallelkreise ist der oben (§ 5) betrachtete Äquator, dessen Mittelpunkt mit dem Mittelpunkte C der Kugel selbst zusammenfällt, während die Mittelpunkte aller übrigen Parallelkreise desto weiter von C entfernt oder desto näher bei einem der Pole N oder N' liegen werden, je kleiner diese Kreise selbst sind. Solche Parallelkreise sind also in unserer Zeichnung SS'S"E und DD'D"B.

Um auch von diesen himmlischen Parallelkreisen die ihnen entsprechenden irdischen Parallelkreise, z. B. um aus DD'D"B den analogen irdischen Parallelkreis zu erhalten, wird man von allen Punkten des ersten Kreises gerade Linien nach dem Mittelpunkte C der Kugel ziehen und dadurch gleichsam die Oberfläche eines Kegels erhalten, dessen Spitze in C und dessen Basis der himmlische Parallelkreis DD'D"B ist. Diese Kegelfläche wird dann die Oberfläche der Erde in dem gesuchten analogen irdischen Parallelkreise db schneiden.

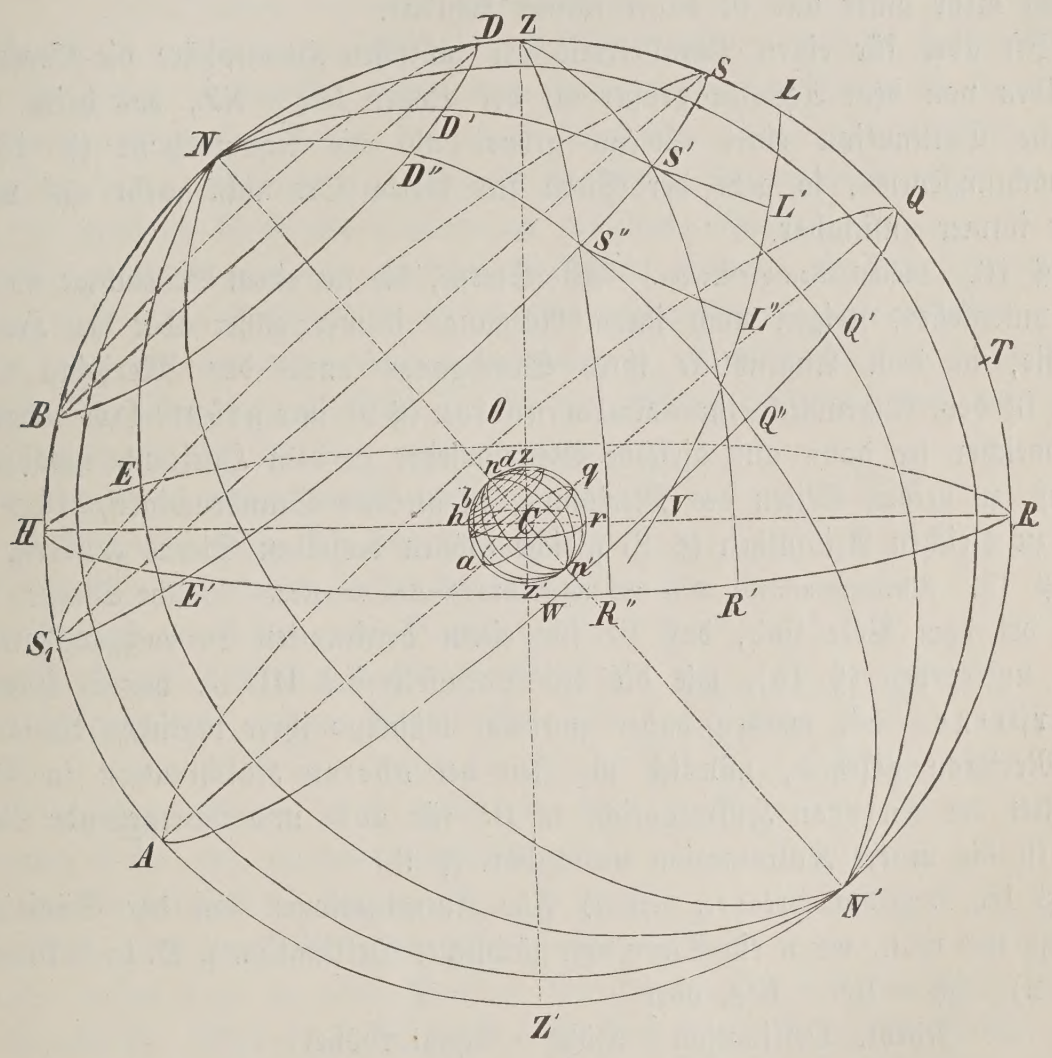
Auf der Oberfläche der Erde bezeichnet man auf jeder Hemisphäre vorzüglich zwei dieser Parallelkreise, nämlich die beiden Wendekreise, die von dem Äquator, zu beiden Seiten desselben, um $23^1/_2{}^0$ abstehen und daher, bis an den Himmel erweitert, durch die beiden Solstitialpunkte (§ 11) der Ekliptik gehen, und die beiden Polarkreise, deren Peripherie von den beiden Weltpolen N und N' um dieselbe Größe von $23^1/_2{}^0$ absteht.

Die Parallelkreise werden von den bisher betrachteten größten Kreisen der Kugel, z. B. von dem Horizonte, nicht immer in zwei gleiche, sondern oft, wie der Parallelkreis SE'S_1E in zwei sehr ungleiche Teile, ja öfter, wie der Parallelkreis DD'D"B, gar nicht mehr geschnitten.

Wie zum Äquator, kann man sich auch zum Horizonte parallele kleinere Kreise der Kugel, einerseits bis zum Zenithe, andererseits bis zum Nadir, denken, die man Almukantharate nennt.

§ 15. (Tag- und Nachtbogen; Auf- und Untergang der Sterne.) Von den Parallelkreisen, die von dem Horizonte noch geschnitten werden, bezeichnet der Teil ESS"E', der über dem Horizonte des Beobachters z liegt, den sogenannten Tagbogen des Gestirns, d. h. denjenigen Bogen, in welchem der in diesem Parallelkreise sich

Fig. 2.



bewegende Stern während seiner täglichen Umdrehung um die Erde dem Beobachter sichtbar bleibt, während der übrige Teil E'S,E dieses Parallelkreises den Nachtbogen oder den für den Beobachter unsichtbaren Teil dieses Kreises bezeichnet.

Von den beiden Durchschnittspunkten E und E' des Parallelkreises mit dem Horizonte bezeichnet der erste E, in der östlichen Hemisphäre (§ 7), den Punkt des Himmels, wo ein Stern dieses Parallelkreises aufgeht oder wo er sich über den Horizont zu erheben anfängt, während in dem entgegengesetzten Punkte E' der Stern untergeht oder sichtbar zu sein aufhört.

Für die Sterne im Äquator ist der Tagbogen OQW gleich dem Nacht-

bogen WAO. Für alle anderen Sterne aber ist in der nördlichen Hemisphäre (§ 5) der Tagbogen desto größer, je weiter der Parallelkreis von dem Äquator absteht, oder je größer die Deklination (§ 9) des Sterns ist, und dasselbe gilt auch von dem Nachtbogen in der südlichen Hemisphäre.

Ist, wie für den Parallelkreis DD'B der nördlichen Hemisphäre, der Bogen NB kleiner als der Bogen NH = ZQ, das heißt, ist die Poldistanz eines Sterns kleiner als die Polhöhe (§ 13) des Beobachtungsortes, so schneidet der Parallelkreis des Sterns den Horizont nicht mehr, oder der Stern geht für den Beobachter z nicht mehr unter und ist daher immer sichtbar.

Ist aber für einen Parallelkreis der südlichen Hemisphäre die Entfernung desselben von dem Äquator größer als der Bogen RQ = NZ, das heißt, ist die südliche Deklination eines Sterns größer als die Äquatorhöhe (§ 13) des Beobachtungsortes, so geht der Stern für diesen Ort nicht mehr auf und ist daher immer unsichtbar.

§ 16. (Kulmination der Sterne.) Alle Sterne, die für einen Beobachter noch auf- und untergehen, steigen nach ihrem Aufgange immer höher über den Horizont, bis sie, in dem Augenblicke ihres Durchgangs durch den Meridian SZRQ, d. h. in dem Augenblicke ihrer Kulmination (§ 9) ihre größte Höhe erreichen, von welcher sie dann auf dieselbe Weise wieder zu dem Horizonte herabsteigen, so daß, zu beiden Seiten des Meridians, zu gleichen Stundenwinkeln (§ 9) oder auch zu gleichen Azimuthen (§ 8) gleiche Höhen desselben Sterns gehören.

§ 17. (Circumpolarsterne, obere und untere Kulmination derselben.) Solche Sterne, die so nahe bei dem Pole sind, daß sie für einen bestimmten Beobachtungsort nicht mehr untergehen (§ 15), wie die des Parallelkreises DD'B, heißen Circumpolarsterne. Sie werden daher zweimal während ihrer täglichen Umlaufszeit im Meridian gesehen, nämlich zur Zeit der oberen Kulmination in D und zur Zeit der unteren Kulmination in B; für auf- und untergehende Gestirne aber ist die untere Kulmination unsichtbar. (§ 9.)

§ 18. (Kulminationshöhe der Gestirne.) Für Kulminationen auf der Südseite des Zeniths hat man, wenn ein Stern von nördlicher Deklination z. B. in S kulminiert (Fig. 2): QS = RS − RQ, oder

Nördl. Deklination = Höhe − Äquatorhöhe

und wenn ein Stern von südlicher Deklination etwa in T kulminiert, QT = QR − TR oder:

Südl. Deklination = Äquatorhöhe − Höhe.

Ebenso hat man für Kulminationen der Circumpolarsterne auf der Nordseite ZH des Zenithes, wenn der Stern über dem Pole N z. B. in dem Punkte D kulminiert: HD = HN + ND. Da aber die Polhöhe HN die Ergänzung der Äquatorhöhe zu 90° (§ 13), also: HN = 90° − Äquatorhöhe ist, und ND die Poldistanz des Gestirnes vorstellt, die ihrerseits wieder die Ergänzung zu 90° (§ 9), daher ND = 90° − Deklination beträgt, hat man:

Höhe = 180° − Deklination − Äquatorhöhe

oder auch:

Deklination = 180° − Äquatorhöhe − Höhe.

Endlich ist für die Kulminationen der Circumpolarsterne unter dem Pole, etwa in B: HB = HN − BN, also wenn man, wie soeben Polhöhe und Poldistanz wieder durch Äquatorhöhe und Deklination ersetzt:

Höhe = Deklination − Äquatorhöhe

oder, was auf dasselbe hinausläuft:

Deklination = Höhe + Äquatorhöhe,

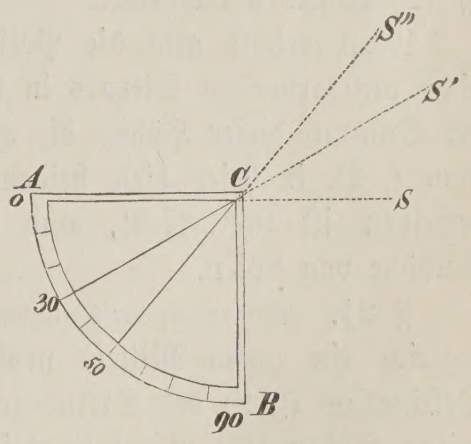
wo immer + das bekannte Zeichen der Addition und − das der Subtraktion ist.

Aus diesen Ausdrücken ersieht man sofort, daß, wenn man die Äquatorhöhe des Beobachtungsortes kennt, und man durch ein hierzu geeignetes Instrument die Höhe eines Gestirnes im Augenblicke seiner Kulmination mißt man auf eine sehr einfache Weise die Deklination desselben erhält.

Wir werden daher hier zunächst die Mittel erörtern, die dem Astronomen zu Gebote stehen, die Äquatorhöhe seines Beobachtungsortes zu ermitteln.

§ 19. (Quadrant als Instrument zum Höhenmessen.) In dieser Beziehung möchten wir zunächst bemerken, daß es leicht ist, sich ein Instrument vorzustellen, mit welchem man die Höhe der Gestirne und überhaupt die Höhe aller Gegenstände messen kann. Sei z. B. ACB (Fig. 3) eine ebene Tafel in der Gestalt des vierten Teiles eines Kreises ausgeschnitten, so daß der Punkt C der Mittelpunkt dieses Kreises, und der Winkel ACB gleich einem rechten Winkel ist. Die Peripherie AB dieses Quadranten sei in seine einzelnen Grade und selbst in die kleineren Teile des Grades eingeteilt, und um den Mittelpunkt C bewege sich, als um eine Achse, ein Fernrohr oder ein Diopter so, daß dessen Lage in allen Punkten des Quadranten mit der Ebene desselben parallel bleibt. Man denke sich nun dieses Instrument an einem Pfeiler oder an einer Wand so befestigt, daß die Ebene ABC desselben genau vertikal (§ 6) und der höchste Halbmesser CA desselben vollkommen horizontal ist. Zeigt in diesem Zustande das Fernrohr, wenn es in die Lage des höchsten Halbmessers CA gebracht wird, dem Auge des Beobachters in O den Stern S, so wird dieser Stern in dem Horizonte des Beobachters liegen, oder seine Höhe wird Null sein. Wird aber das Fernrohr in die Lage des Halbmessers C 30 gebracht, und sieht dann das Auge in 30 den Stern S', so wird, da OCS nach der Voraussetzung eine horizontale Linie ist, die Höhe des Sterns S' gleich dem Winkel SCS' sein, oder, da die Scheitelwinkel SCS' und O C 30 einander gleich sind, so wird die Höhe

Fig. 3.



des Sterns S′ über dem Horizonte CS des Beobachters 30^0 betragen, und ebenso wird die Höhe des Sterns S″ gleich SCS″ oder O C 50, d. h. gleich 50^0 sein, u. s. w.

§ 20. (Bestimmung der Polhöhe.) Dieses vorausgesetzt, wollen wir nun das Instrument, ohne die vertikale Lage seiner Ebene und die horizontale Lage seines höchsten Halbmessers AC zu ändern, in die ebenfalls vertikale Ebene (§ 7) des Meridians, und zwar so bringen, daß die Seite C desselben gegen Nord und die Seite A gegen Süd gekehrt ist. Beobachten wir in dieser Stellung des Quadranten die Höhe eines Circumpolarsternes, der (§ 17) den sichtbaren Teil des Meridianes täglich zweimal durchschneidet. Zur Zeit seiner oberen Kulmination in D ist die Höhe des Sterns HD, und 12 Stunden vor- und nachher, zur Zeit seiner unteren Kulmination in B, ist die Höhe desselben HB. Da aber (§ 14) alle Punkte eines Parallelkreises von einem und demselben Weltpole gleich weit abstehen, so ist BN gleich ND, so daß man daher sagen kann, die beiden beobachteten Höhen des Sternes sind

in der obern Kulmination gleich HN mehr ND,
in der untern Kulmination gleich HN weniger ND,

woraus folgt, daß das Mittel aus beiden Höhen gleich HN oder gleich der Polhöhe (§ 13) des Beobachtungsortes ist, welche Polhöhe zugleich den Abstand des Beoachters von dem irdischen Äquator, d. h. die geographische Breite (§ 12) desselben ausdrückt.

Man erhält also die Polhöhe eines Ortes, wenn man die Höhen eines nicht untergehenden Sternes in seinen beiden Kulminationen beobachtet und von der Summe dieser Höhen die Hälfte nimmt. Von dem Polarstern beobachtete man z. B. in Wien diese beiden Höhen 49^0 33·3′ und 46^0 54·5′. Die Summe derselben ist 96^0 27·8′, und ihre Hälfte 48^0 13·9′ ist daher die gesuchte Polhöhe von Wien.

§ 21. (Bestimmung der Deklination der Circumpolarsterne.) Diese Beobachtungsart giebt zugleich ein gutes Mittel, nebst der Polhöhe des Beobachtungsortes auch die Deklination (§ 9) des Sterns zu bestimmen. Es ist nämlich der Unterschied der beiden Höhen HD und HB gleich BD oder 2ND, das heißt: die halbe Differenz der zwei beobachteten Höhen ist gleich dem Abstande des Sterns D von dem Pole N, oder gleich ND, und da NQ gleich 90^0 ist, so ist $QD = 90^0 - ND$ oder mit anderen Worten: Man erhält die Deklination des beobachteten Sterns, wenn man die halbe Differenz seiner beiden Höhen von 90^0 subtrahiert. In unserem Beispiele waren die beiden Höhen 49^0 33·3′ und 46^0 54·5′; also ist ihre halbe Differenz 1^0 19·4′, und diese von 90^0 abgezogen, giebt 88^0 40·6′ für die gesuchte Deklination des Polarsterns.

§ 22. (Bestimmung der Deklination aller übrigen Sterne.) Da die vorhergehende Methode (§ 20) uns die Polhöhe kennen gelehrt hat, können wir nun (nach § 18) aus Höhenbeobachtungen der Gestirne während ihrer Kulmination auch für jene Sterne, die nicht circumpolar sind, die Deklination finden. Denn mit der Polhöhe eines

Ortes ist auch dessen Äquatorhöhe RQ gegeben, weil (§ 13) die Summe dieser beiden Höhen immer einen rechten Winkel beträgt, oder weil die Äquatorhöhe immer gleich 90^0 weniger der Polhöhe ist. So haben wir oben für die Polhöhe von Wien $48^0\ 13{\cdot}9'$ gefunden, woraus sofort folgt, daß die Äquatorhöhe dieses Ortes $41^0\ 46{\cdot}1'$ beträgt, d. h. die Bewohner Wien's sehen den Nordpol N des Äquators in der Höhe von $48^0\ 13{\cdot}9'$ über ihrem Horizonte und daher auch den höchsten Punkt Q des Äquators in der Höhe von $41^0\ 46{\cdot}1'$.

Dieses vorausgesetzt, wollen wir nun unsern Quadranten (Fig. 3) aus seiner frühern Lage um die Linie CB als um eine Achse drehen, bis die Ebene des Instrumentes wieder in dem Meridian liegt, aber die Seite C gegen Süd und A gegen Nord gewendet ist, und dann die Linie AC wie zuvor wieder horizontal stellen. Beobachtet man mit dem Instrumente in dieser Lage die Höhe RS (Fig. 2) eines Sterns auf der Südseite des Zeniths zur Zeit seines Durchgangs durch den Meridian ZR, so wird man (§ 18) nur von dieser Höhe RS die bereits bekannte Äquatorhöhe RQ abziehen, um sofort die gesuchte nördliche Deklination QS des Sterns zu erhalten. Geht aber der Stern unter dem Äquator, zwischen den Punkten R und Q, durch den Meridian, so wird man umgekehrt die beobachtete Höhe des Sterns von der Äquatorhöhe abziehen, um die südliche Deklination (§ 18) desselben zu erhalten.

§ 23. (Sternzeit, Bestimmung der Rektascension der Sterne.) Hätte man überdies ein Mittel, für die Zeit der Kulmination eines Sterns, z. B. in S auch noch den Stundenwinkel des Frühlingspunktes V (§ 9 und 10) zu beobachten, so würde man die Deklination und die Rektascension (§ 10) dieses Sterns, also eine vollständige Bestimmung seines Ortes am Himmel erhalten. Denn dieser Stundenwinkel ist (§ 9) gleich dem Winkel VNQ oder gleich dem Bogen VQ, und dieser Bogen VQ ist zugleich die Rektascension (§ 10) des Sterns S.

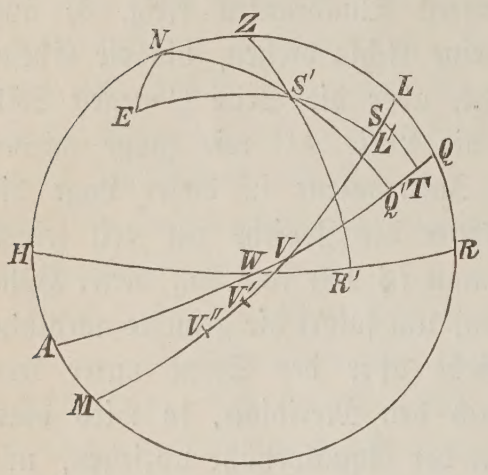
Man nennt den Stundenwinkel QV des Frühlingspunktes, der für irgend einen Augenblick statthat, auch die Sternzeit dieses Augenblickes, ganz ebenso, wie wir oben (§ 9) den Stundenwinkel der Sonne in jedem Augenblicke die wahre Sonnenzeit dieses Augenblicks genannt haben, so daß es 0 Uhr Sternzeit ist, wenn der Frühlingspunkt durch den oberen Teil ZQ des Meridians geht, und 12 Uhr Sternzeit, wenn er durch dessen unteren Teil HZ' geht. Auch heißt das Zeitintervall zwischen zwei nächsten Kulminationen der Sonne Sonnentag, und ebenso die Zeit zwischen zwei nächsten Kulminationen des Frühlingspunkts Sterntag.

Bemerken wir noch, daß, wenn von den drei Größen: Rektascension eines Sterns, Stundenwinkel desselben und Sternzeit der Beobachtung zwei gegeben sind, die dritte sofort durch jene zwei gefunden wird. So hat man z. B. für den Stern S' die Rektascension VQ', den Stundenwinkel QQ' und die Sternzeit VQ. Es ist aber immer $VQ = VQ' + Q'Q$, das heißt, die Sternzeit der Beobachtung ist immer gleich der Summe der Rektascension und des Stundenwinkels

des Sterns. Ist der Stern zur Zeit seiner Kulmination in dem Meridian, so ist sein Stundenwinkel Null und daher die Sternzeit der Beobachtung gleich der Rektascension des kulminierenden Sterns, wie zuvor.

§ 24. (Zusammenstellung des Vorhergehenden.) Zur bequemen Übersicht wollen wir die Fig. 2 noch einmal einfacher und nur in ihren vorzüglichsten Bestandteilen in Fig. 4 wiedergeben und dabei dieselben Zeichen, wie zuvor, gebrauchen. Hier ist also

Fig. 4.



Z das Zenith des Horizonts HWR,
N der Nordpol des Äquators AWQ und
E der Nordpol der Ekliptik MVL, somit NE die Schiefe der Ekliptik. Ferner sind die Punkte H, W, R und V in derselben Ordnung Nord, West, Süd und der Frühlingspunkt, und NH = QZ ist die Polhöhe des Beobachtungsortes, dessen Zenith Z ist.

Zieht man durch die drei genannten Pole Z, N und E in derselben Ordnung auf die drei Kreise HWR, AWQ und MVL die senkrechten Kreise ZR', NQ', EL', so sind diese letzten Kreise beziehungsweise die Höhen-, Deklinations- und Breitenkreise des Sterns S', und man nennt den Bogen dieser Kreise

S'R' die Höhe, ZS' die Zenithdistanz,
S'Q' die Deklination oder Abweichung, NS' die Poldistanz,
S'L' die Breite des Sterns S'.

Endlich ist RZR' = RR' das Azimuth,
QNQ' = QQ' der Stundenwinkel,
VNQ' = VQ' die Rektascension oder gerade Aufsteigung,
VEL' = VL' die Länge des Sterns S', so wie VNQ = VQ den Stundenwinkel des Frühlingspunkts oder die Sternzeit bezeichnet.

Es stellt also Fig. 4 die westliche Hemisphäre des Himmels dar, wie dieselbe einem in der Verlängerung der Linie West-Ost außer der Kugel stehenden Beschauer erschiene.

Um der Imagination derjenigen Leser zu Hilfe zu kommen, die nicht gewohnt sind, was von Kugelflächen gesagt wird, in einer Ebene dargestellt zu sehen, wie dies in Zeichnungen nicht anders sein kann, wird es rätlich sein, sich das bisher Gesagte auch durch den Anblick eines sogenannten Globus zu versinnlichen, worauf übrigens bereits (§ 3) Eingangs hingewiesen wurde. Wir behalten uns deshalb auch vor, weiter unten in einem eigenen Kapitel (I, 12) die Vorteile der Globen, die Orientierung derselben, sowie die Aufgaben, die man mit ihnen auflösen kann, eingehender zu besprechen.

Erste Abteilung.

Theoretische Astronomie

oder

allgemeine Erscheinungen des Himmels.

Kapitel I.

Gestalt und Größe der Erde.

§ 1. (Erste Erscheinungen am Himmel und auf der Erde.) Die Erde erscheint uns auf den ersten Blick als eine nach allen Seiten endlos ausgebreitete Ebene, über welcher sich der Himmel mit seinen Wolken und Gestirnen in der Gestalt einer Halbkugel wölbt. Da wir in der That von unseren höchsten Türmen und Gebirgen denjenigen Teil der Erde, den wir von jenen Standpunkten übersehen, einige Erhöhungen und Vertiefungen ausgenommen, immer nur als eine Ebene erblicken, eine Erscheinung, die auf der hohen glatten See noch viel deutlicher hervortritt, so sind wir dadurch veranlaßt, die ganze Erde selbst für eine solche Ebene zu halten, über welcher der Himmel gleich einem Gewölbe ausgespannt ist. Dies war ohne Zweifel die ganze Astronomie der ersten Menschen; dies ist noch die Astronomie der Wilden in Afrika und Amerika und wohl auch die vieler Zahmen in Europa, die sich in ihrer Bescheidenheit, zum Unterschiede von jenen, die Gebildeten zu nennen pflegen.

§ 2. (Die Erde ist keine Ebene und hat keine Unterstützung.) Und doch genügt schon eine geringe Aufmerksamkeit, die Unrichtigkeit der oben angeführten Ansicht einer nach allen Seiten ohne Grenzen ausgebreiteten *ebenen* Erde, mit der sicheren Grundlage unter ihr, auf der sie, wie man wähnte, ruhen sollte, zu bemerken. Man sah täglich die Sonne im Osten auf- und im Westen untergehen und konnte doch nicht zweifeln, daß es immer *dieselbe* Sonne ist, welche dieses Schauspiel mit jedem neuen Tage vor uns aufführt. — Wo war sie aber während der Nacht? Und was geht mit dem Monde und mit allen anderen Gestirnen des

Himmels vor, die uns ebenfalls täglich im Westen verschwinden, um bald darauf im Osten wieder sichtbar zu werden? Sie sind doch offenbar dieselben, die wir gestern, die wir alle Tage schon gesehen haben. — Sie müssen also wohl unter uns, unter der Erde durchgegangen sein, so daß wir von den Kreisen die sie um uns beschreiben, nur denjenigen Teil erblicken, der über der Erde steht, während der andere Teil derselben, der unter der Erde liegt, uns von dieser Erde selbst bedeckt und daher für uns unsichtbar wird.

Die Erde kann also wohl erstens kein endlos ausgedehnter Körper sein, wie wir anfangs glaubten, sondern sie muß, so groß sie auch übrigens sein mag, doch immer in bestimmte Grenzen eingeschlossen sein, weil sonst jene Gestirne nicht um sie herum gehen könnten.

Auch werden wir zweitens den Glauben an ihren festen Stand, an die sichere Unterlage, auf der sie ruhen soll, aufgeben müssen, so sehr wir auch gewohnt sein mögen, die Erde als das Symbol der Festigkeit zu betrachten. Denn welcher Art könnte jene Unterlage wohl sein, wenn sie die ganze schwere Erde tragen, und nicht selbst wieder einer anderen Unterlage bedürfen sollte? Und worauf würde die letzte aller dieser Unterlagen selbst ruhen? Wie sollen endlich die Gestirne, wenn sie ihre Bahnen unter der Erde fortsetzen, jene Unterlage vermeiden: sie müßten sie durchbrechen, oder in zahllosen Kanälen sich ihre Wege durch dieses Hindernis bahnen.

Wir werden also wohl auch diese ganze Unterlage aufgeben und annehmen müssen, daß die Erde nicht nur in horizontaler Richtung, sondern auch auf ihrer unteren Seite ebensowohl ein begrenzter Körper ist, wie wir dies auf der oberen Seite derselben, auf der wir uns selbst befinden, bemerken. Welche Gestalt also diese unsere Erde auch haben mag, sie ist ein ringsum abgeschlossener Körper, dessen Oberfläche in allen ihren Teilen mit der sie umgebenden Luft oder doch mit dem übrigen Weltraume in Verbindung steht, und da sie keine Unterlage haben kann, wenn anders noch die Sterne sich um sie bewegen sollen, so bleibt nichts übrig, als anzunehmen, daß sie frei in diesem Weltraume schwebe, oder daß irgend ein unsichtbares, ein uns unbekanntes Band sie an dieser Stelle des Himmels festhalte. Ein kühner Gedanke fürwahr für den, der ihn zuerst gedacht hat, obschon er, wenn er anders folgerecht denken sollte, beinahe dazu gezwungen wurde.

§ 3. (Kugelgestalt der Erde.) Noch ist drittens die äußere Form dieser im Himmelsraume frei schwebenden Erde zu bestimmen übrig. Hat sie die Gestalt eines Würfels, eines Cylinders oder irgend eines anderen Körpers? Solche Fragen können offenbar nicht durch Schlüsse, sondern sie müssen durch Beobachtungen entschieden werden, und gewiß, wenn wir unsere Erde aus recht großer Entfernung, etwa aus dem Monde, sehen könnten, wir würden mit dieser unserer Untersuchung bald im Reinen sein. Da wir aber an sie gebunden, und da alle Wege, die zum Monde führen, uns unbekannt sind, so wollen wir uns so weit

über sie erheben, als wir eben können, um wenigstens einen möglichst großen Teil derselben zu erblicken.

Unsere Berge, besonders die isoliert in der Ebene stehenden, bieten uns dazu ein gutes Mittel. Und wie erscheint uns da der Teil der Erde, den wir vom Gipfel jener Berge übersehen? — Durchaus in der Gestalt eines *Kreises*, über dessen Mittelpunkt wir selbst zu stehen glauben. Immer sehen wir die äußersten Gegenstände der Erde, die unseren Gesichtskreis begrenzen, in *gleicher* Entfernung vor unseren Augen und alle *gleich tief* unter uns. Die schärfsten Messungen mit dazu geeigneten Instrumenten bestätigen diese Erscheinung vollkommen, und auf der hohen See tritt sie schon auf den ersten Blick als eine nicht weiter zu bezweifelnde Thatsache hervor.

Wenn uns aber die Oberfläche der Erde überall, wo wir sie aus einem Punkte über ihr betrachten, von einem *Kreise* begrenzt erscheint, so muß diese Erde selbst offenbar die Gestalt einer *Kugel* haben, da nur bei der Kugel in *allen* ihren Teilen jene Erscheinung statthaben kann.

Unser Wohnort ist also keine Ebene, die sich ohne Ende in die Tiefe und ohne Grenzen nach der Seite ausdehnt, sondern sie ist eine *Kugel*, die ohne Unterstützung frei im Weltraume schwebt wie der Mond und die Sonne, die wir ebenfalls unter derselben kugelförmigen Gestalt am Himmel schweben sehen. Diese Sonne bringt uns den Tag, so oft sie im Osten erscheint und die von uns bewohnten Gegenden mit ihren Strahlen beleuchtet. Wenn sie aber ihren Lauf an dem uns sichtbaren Gewölbe des Himmels *über* uns vollendet hat und am Abend unsern Augen verschwindet, so legt sie den übrigen Teil ihrer täglichen Bahn auf der andern Seite der Erde, also *unter* uns zurück und beleuchtet die uns entgegengesetzten Gegenden der Erdkugel, die sie dann mit dem Lichte des Tages erfreut, während wir im Schatten der Nacht ruhen, bis uns die Morgenröte im Osten aus unseren Träumen weckt und wir einem neuen Tag entgegengehen, während jene wieder von dem dunkeln Mantel der kommenden Nacht bedeckt werden. So wechseln Licht und Schatten auf unserer kugelförmigen Erde; Tag und Nacht haben sie zu gleichen Hälften unter sich geteilt, und dieselbe Sonne ist es, die, täglich ihren Kreislauf um die Erde vollendend, allmählich alle Gegenden derselben mit ihren wohlthätigen Strahlen beleuchtet und erwärmt.

Wir werden später die Mittel kennen lernen, die Gestalt sowohl als auch die Größe der Erde mit großer Genauigkeit zu bestimmen. Hier wird es genügen, noch einige Bemerkungen anzuführen, durch welche die bereits erkannte Kugelgestalt der Erde bestätigt wird, und die sämtlich der Art sind, daß sie keine weiteren Vorkenntnisse voraussetzen und daher auch schon in den frühesten Zeiten angestellt werden konnten.

§ 4. (Weitere Beweise für die Kugelgestalt der Erde. I. Aus der Ansicht ferner Gegenstände.) Wenn Reisende in einer Ebene sich fernen Bergen oder einem hohen Turme allmählich nähern, so erblicken sie bekanntlich zuerst die höchsten Spitzen und erst später die

immer tiefer liegenden Teile derselben. Noch deutlicher tritt diese Erscheinung auf der hohen See hervor, wo die am Ufer stehenden Zuschauer von dem absegelnden und sich immer mehr von ihnen entfernenden Schiffe zuerst die untersten Teile desselben aus dem Gesichte verlieren und zuletzt, ehe das Ganze verschwindet, nur noch die höchsten Spitzen der Maste erblicken. Da diese Erscheinung auf allen Orten der Erde statthat, so muß die Erde selbst eine runde Gestalt haben und kann keine Ebene sein, weil in dem letztern Falle jenes Schiff, gleich einem Vogel oder einem Luftballone, je weiter es sich von uns entfernt, nicht, wie zuvor, bloß an seiner unteren Seite unsichtbar, sondern in allen seinen Teilen zugleich kleiner werden und endlich als ein für unser Auge unsichtbarer Punkt gänzlich verschwinden müßte.

(II. Aus Reisen in der Richtung des Meridians und um die Welt.) Jedermann kennt das schöne Sternbild am nördlichen Himmel, welches man den großen Bären oder auch den Wagen nennt. Es besteht vorzüglich aus 7 großen Sternen, deren 4 wie die Räder eines Wagens sehr nahe ein regelmäßiges Viereck bilden, während die 3 anderen die etwas gekrümmte Deichsel vorstellen. Wenn man durch die beiden Hinterräder desselben eine gerade Linie zieht und die Verlängerung derselben gegen Norden fünfmal so groß nimmt als die Distanz dieser 2 Räder, so trifft das Ende dieser Linie einen anderen schönen Stern, den man den Polarstern nennt. Dieser wichtige Stern, von welchem wir bereits einmal (Einl. § 20, 21) gesprochen haben, und später noch oft sprechen werden, steht beinahe in völliger Ruhe am Himmel, während alle anderen in jedem Tage kleinere oder größere Kreise um ihn zu beschreiben scheinen. Wenn man auf der Erde in der Richtung von Süd nach Nord, gleichsam auf den Polarstern zu reist, so erhebt sich jener Stern immer mehr über unseren Horizont, und zwar in demselben Verhältnisse, in welchem man gegen Norden vorrückt. Eine solche Reise in der Richtung von Süd gegen Nord würde z. B. die von Rom über Venedig, Regensburg und Leipzig nach Rostock sein. In Rom aber sieht man den Polarstern in der Höhe von 42^0 über dem Horizonte, während er in Rostock 12^0 höher oder in der Höhe von 54^0 über dem Horizont dieser letzten Stadt erscheint. Die Distanz dieser beiden Orte auf der Erde beträgt 1330 km und da nach dem Vorhergehenden jene Erhöhung des Polarsternes am Himmel dem zurückgelegten Wege proportional vor sich ging, betrug sie für je 111 km einen Grad.

Wir wissen ferner, daß unsere Weltumsegler, wenn sie ihren Lauf der Hauptrichtung nach unverändert, z. B. von Ost nach West beibehalten, also sich scheinbar immer weiter von ihrem Abfahrtsorte entfernen, doch am Ende ihrer Reise wieder an demselben Punkte ankommen, von welchem sie ausgegangen sind, was unmöglich wäre, wenn die Erde die Gestalt einer Ebene hätte.

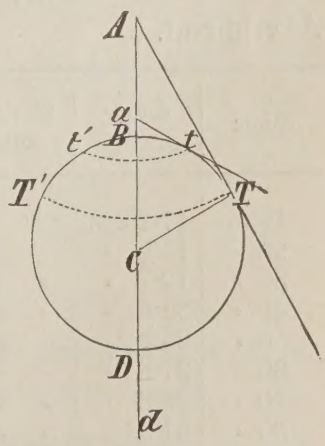
(III. Aus Mondfinsternissen.) Wer je eine Mondfinsternis gesehen hat und weiß, daß sie entsteht, wenn der Mond in den Schatten tritt, welchen die von der

Sonne beleuchtete Erde hinter sich wirft, dem wird der bloße Anblick dieser Erscheinung schon einen Beweis mehr für die runde Gestalt der Erde geben. Die Grenze des Erdschattens erscheint nämlich bei diesen Finsternissen auf der Oberfläche des Mondes immer rund, zum Zeichen, daß die Erde selbst, welche diesen Schatten wirft, nicht von ebenen, sondern gekrümmten Flächen begrenzt sein muß.

(IV. Aus der Gestalt anderer Gestirne.) Als im sechzehnten Jahrhundert die Fernrohre erfunden wurden, bemerkte man auch an mehreren anderen Himmelskörpern dieselbe Kugelgestalt, die man denn auch sehr bald als die Lieblingsform der Natur erkannte, bis sie endlich durch die Theorie der allgemeinen Schwere, nur mit einigen kleinen Abweichungen, von welchen wir später reden werden, als die einzig mögliche erkannt und bewiesen worden ist. Sonne und Mond und alle Planeten mit ihren Satelliten haben diese Gestalt; warum sollte allein die von uns bewohnte Erde sie nicht haben? Ein dunkles Gefühl scheint uns bereits aus den wenigen vorhergehenden Betrachtungen zuzurufen, daß wir bisher im Irrtume waren, wenn wir die Erde, unseren Wohnort, als etwas Eigenes, für sich Bestehendes ansahen, dergleichen nicht weiter in der übrigen Welt zu finden sei, ja der zu Liebe wohl, wie wir früher wähnten, alles Andere da sei, und daß wir uns daher bei Zeiten gewöhnen müssen, in dieser Erde nicht sowohl unseren ausschließenden Wohnort als vielmehr einen jener großen Himmelskörper mehr zu erblicken, welche den Weltraum um uns erfüllen, von deren Chor wir nur einen und, wie wir bald sehen werden, einen sehr kleinen Teil ausmachen.

§ 5. (Wie viel wir von der Erde in größeren Höhen übersehen.) Nachdem wir uns von der Kugelgestalt der Erde überzeugt haben, drängt sich uns von selbst die Frage auf, wie viel wir denn von ihr auf der Spitze eines Turmes oder auf dem Gipfel eines Berges, dessen Höhe gegeben ist, erblicken, und unter welchem Winkel uns in jener Höhe dieser von dort aus sichtbare Teil der Erde erscheint.

Fig. 5.



Sei C (Fig. 5) der Mittelpunkt der kugelförmigen Erde BTD und ein Beobachter a in der Höhe Ba, so wie ein zweiter A in der Höhe BA über der Oberfläche der Erde. Zieht man von diesen Punkten a und A die geraden Linien at und AT, welche die Erde in t und T berühren, so stellen tt' und TT' die Peripherien der Kreise vor, welche die aus a und A sichtbaren Teile der Erde begrenzen. Bt und BT kann man als die Halbmesser dieser Kreise bezeichnen, während man die Ergänzung der Gesichtswinkel Cat und CAT, unter welchen diese Halbmesser dem Beobachter in a und A erscheinen, zu 90°, Depression des Horizontes nennt. Der bloße Anblick der Zeichnung zeigt, daß, wenn die Höhe des Beobachters über der Erde wächst, auch jene Halbmesser wachsen, daß wir daher immer mehr von

der Erde übersehen werden, je höher wir steigen, und daß zugleich der uns sichtbare Teil der Erde, obschon er, wenn wir uns über ihn erheben, an sich selbst immer *größer* wird, doch sich unserem Auge unter einem geringeren Winkel darstellen oder immer kleiner *erscheinen* wird. So werden wir ganz nahe über der Oberfläche der Erde, in der geringen Höhe von 10 m, auf der offenen See einen Kreis derselben übersehen, dessen Peripherie in allen ihren Punkten nahe 11 km von uns entfernt ist; aber dieser Halbmesser erscheint uns unter einem Winkel, der nur 6′ kleiner ist als ein Quadrant, der also beinahe ein rechter Winkel ist, oder mit anderen Worten, die geraden Linien aus unserem Auge an alle Punkte der Peripherie werden nur äußerst wenig unter den Horizont geneigt sein, und jener Kreis selbst, also auch mit ihm die ganze sichtbare Erde, wird uns als eine nahe horizontale Ebene erscheinen. Könnten wir uns aber so weit wie der Mond von unserer Erde entfernen, der, wie wir später sehen werden, rund 384 000 km von der Oberfläche der Erde absteht, so würden wir von diesem weiten Standpunkt aus beinahe die ganze uns zugekehrte Hälfte der Erde übersehen; aber dessen ungeachtet würde uns diese ganze große Kugel nur unter dem sehr kleinen Winkel von noch nicht 2° oder noch nicht ganz viermal so groß im Durchmesser erscheinen, als wir jetzt den Mond oder auch die scheinbar gleich große Sonne am Himmel erblicken.

Untenstehende Tafel, welche unter der Annahme (siehe Note zu § 6) berechnet ist, daß der Halbmesser der Erde 6380 km beträgt, giebt für mäßige Höhen über derselben eine leichte Übersicht dieser Verhältnisse. Die erste Kolumne enthält die Höhe BA des Beobachters über der Erdoberfläche in Metern; die zweite giebt den Halbmesser BT des sichtbaren Kreissegmentes in Kilometern und die dritte den Gesichtswinkel CAT, unter dem dieser Halbmesser dem Auge in A erscheint.

Höhe	Halbmesser	Gesichtswinkel	Höhe	Halbmesser	Gesichtswinkel	Höhe	Halbmesser	Gesichtswinkel
10 m	11·1 km	89° 54·0′	100 m	35·8 km	89° 40·7′	1000 m	112·9 km	88° 59·1′
20 =	15·9 =	= 51·4′	200 =	50·4 =	= 32·8′	2000 =	159·5 =	= 33·9′
30 =	19·7 =	= 49·4′	300 =	61·7 =	= 26·7′	3000 =	195·5 =	= 14·5′
40 =	22·6 =	= 47·8′	400 =	71·3 =	= 21·5′	4000 =	225·7 =	87° 58·2′
50 =	25·2 =	= 46·4′	500 =	79·9 =	= 16·9′	5000 =	252·4 =	= 43·8′
60 =	27·6 =	= 45·1′	600 =	87·5 =	= 12·8′	6000 =	276·5 =	= 30·8′
70 =	29·8 =	= 43·9′	700 =	94·5 =	= 9·0′	7000 =	298·5 =	= 18·9′
80 =	31·9 =	= 42·8′	800 =	101·0 =	= 5·5′	8000 =	319·1 =	= 7·8′
90 =	33·9 =	= 41·7′	900 =	107·1 =	= 2·2′	9000 =	338·9 =	86° 57·1′
100 =	35·8 =	= 40·7′	1000 =	112·9 =	88° 59·1′	10000 =	356·7 =	= 47·5′

Aus den Angaben dieser Tafel ersieht man sofort, daß man von dem Pic in Teneriffa (Höhe 3700 m) einen Teil der Erde von 217 km im Halbmesser übersieht, und daß dieser Halbmesser für den Montblanc (Höhe 4800 m) auf 247, für den Chimborasso (Höhe 6400 m) auf 285 und für den Gipfel des

Gaurisankar oder Mount Everest im Himalaja (Höhe 8850 m), des höchsten bisher bekannten Berges der Erde, auf mehr als 330 km ansteigt.

Zu den höchst gelegenen Städten der Erde gehören Potosi und Cerro de Pasco in den Anden mit 4170 m und 4300 m Seehöhe, während der höchste bewohnte Punkt der Erde, das Buddhisten-Kloster Hanlé in West-Thibet, sogar eine Höhe von 4600 m besitzt. Diese drei Orte haben daher der Reihe nach einen Horizont von 230, 234 und 242 km Halbmesser. Den höchsten bisher von Menschen erstiegenen Punkt erreichten die Brüder A. und R. Schlagintweit auf dem Ibi Gamin in Hochasien am 19. August 1856 in einer Höhe von nahe 6800 m und beherrschten dort einen Gesichtskreis von 294 km. Noch höher, nämlich auf etwas über 8000 m erhoben sich Biot und Gay Lussac in ihren aëronautischen Expeditionen, und Glaisher und Coxwell 1862 vielleicht sogar bis auf 10 000 m, da sie in einer Höhe von 8800 m, während der Ballon noch rasch stieg, das Bewußtsein auf so lange verloren, bis er schon wieder in tiefere Schichten herabgesunken war. Ganz ähnlich erging es Tissandier, Crocé-Spinelli und Sivel, als sie am 15. April 1875 zweimal in Höhen über 8000 m emporstiegen, und längere Zeit darin verweilten: beim Überschreiten dieser Höhe trat auch bei ihnen Bewußtlosigkeit ein, aus der die beiden letzgenannten leider nicht mehr erwachten.

§ 6. (Größe der Erde.) Beobachtungen dieser Art könnten uns zugleich, was wohl nicht weniger interessant wäre, von der eigentlichen Größe dieser Kugel unterrichten. Denn da die Linie AT (Fig. 5) den kreisförmigen Durchschnitt BTDT' der Erde tangiert, bei einem Kreise aber die Tangente auf dem zugehörigen Halbmesser (hier CT) senkrecht steht, ist der Centriwinkel ACT gleich 90^0 weniger dem Gesichtswinkel CAT. Der zu diesem Centriwinkel auf der Erdoberfläche gehörige Bogen BT ist aber nichts anderes als der Halbmesser des Gesichtskreises von A. Hätte man daher durch irgend eine Messung nebst dem Gesichtswinkel auch diesen Halbmesser gefunden, so könnte man durch eine einfache Proportion den Umfang der Erde leicht finden. Man hat nämlich

$$\text{Bogen BT} : \text{Umkreis BTDT'B} = \text{Winkel ACT} : 360^0.$$

Hätte man also beispielsweise in einer Höhe von etwa 5000 m den Gesichtswinkel CAT zu $87^0\ 43{\cdot}8'$ und den Halbmesser BT des Gesichtswinkels zu $252{\cdot}4$ km gemessen, so wäre der entsprechende Centriwinkel $ACT = 90^0 - 87^0\ 43{\cdot}8' = 2^0\ 16{\cdot}2'$, und man hätte zur Ermittelung des Umfanges $BTDT'B = x$ der Erde die einfache Proportion aufzulösen

$$252{\cdot}4 : x = 2^0\ 16{\cdot}2' : 360^0$$

woraus folgt:

$$x = 40\,028 \text{ km}$$

was mit dem wahren, durch bessere Methoden erhaltenen Werte sehr nahe über-

einstimmt.*) Allein diese Beobachtungen sind sehr schwer mit der wünschenswerten Genauigkeit anzustellen, und noch schwerer ist es, die Entfernung des Punktes T, wo die Tangente die Erdoberfläche trifft, vom Fußpunkte B der Bergspitze A zu ermitteln; so daß wir mittelst dieser Methode keine genauen Resultate zu erlangen hoffen dürfen.

Ein weit vorzüglicheres Mittel hierzu bieten uns Reisen in der Richtung des Meridianes dar. Wir haben nähmlich oben (§ 4 II.) gesehen, daß bei Reisen nach Nord für je 111 km der Polarstern sich um 1^0 über den Horizont erhebt, mit anderen Worten, daß einer Strecke von 111 km auf der Oberfläche der Erde, an ihrem Mittelpunkte ein Centriwinkel von 1^0 entspricht, woraus folgt, daß der Umfang der Erde:

$$111 \times 360 = 39\,960 \text{ km}$$

oder in runder Summe, nahe wie früher 40 000 km beträgt.

Man ersieht daraus, daß das Problem der Bestimmung der Größe der Erde eigentlich in zwei Teile zerfällt. Es ist zunächst auf der Erde in der Richtung eines Meridianes eine bestimmte Strecke mit möglichster Genauigkeit zu messen, und dann der Unterschied der geographischen Breiten (Einl. § 13, 20) der beiden Endpunkte zu ermitteln, worauf eine einfache Proportion den Umfang, und damit auch den Halbmesser der Erde ergiebt.

Da es hierbei, wie man ohne Mühe erkennt, schließlich auf die Bestimmung der Länge eines Bogens ankommt, dem ein Centriwinkel von 1^0 entspricht, haben derartige Operationen den Namen Gradmessung erhalten.

§ 7. (Genauere Bestimmung der Gestalt der Erde. Naturmaß.) Wir haben bisher die Gestalt unserer Erde kugelförmig angenommen; denn so stellen sie in der That die Beobachtungen dar, deren wir oben umständlich erwähnten. Allein jene Beobachtungen besaßen in früheren Zeiten keine hohe Schärfe und konnten daher die Gestalt der Erde nur im allgemeinen zeigen. Es ist dies einer der Fälle, die so oft in der Astronomie und allen jenen Wissenschaften vorkommen, die nicht wie z. B. die Geometrie aus selbstgeschaffenen und uns angeborenen Begriffen entstehen, sondern auf Gegenständen außer uns und auf Experimenten beruhen, die wir mit diesen Gegenständen anstellen müssen, um sie in ihren Verhältnissen unter einander zu erkennen. Diese Verhältnisse sind meist zu verwickelt, um sie sogleich nach allen ihren Beziehungen zu übersehen, und es ist daher nicht nur

*) Kennt man aber den Umfang einer Kugel, so ist es bekanntlich sehr leicht, auch den Halbmesser, die Oberfläche und den körperlichen Inhalt derselben zu finden. Ist nämlich r der Halbmesser der Kugel und π die Zahl $3 \cdot 1415926$, so ist die Peripherie eines größten Kreises derselben $2r\pi$ und die Fläche dieses Kreises $r^2\pi$; die Oberfläche der Kugel selbst aber $4r^2\pi$ und endlich ihr Volumen oder ihr körperlicher Inhalt $^4/_3 r^3\pi$. Nimmt man wie zuvor r gleich 6380 km, so findet man demnach für die Peripherie des größten Kreises der Erde (diese als Kugel angenommen) 40 086 km, für die Oberfläche der ganzen Kugel aber 510 Millionen Quadratkilometer und für das Volumen derselben 1 083 000 Millionen Kubikkilometer.

notwendig, zuerst bloß das Allgemeine der Erscheinung aufzufassen, dieselbe gleichsam nur im Rohen darzustellen und die weitere, feinere Ausbildung späteren Untersuchungen zu überlassen, sondern es ist sogar eines der sichersten Kennzeichen des höheren Talentes, anfangs nur die entscheidenden Merkmale, die Hauptmomente zu ergreifen und sogleich auf das Ziel loszugehen, ohne sich von den begleitenden Nebenumständen beirren zu lassen. Ebenso wurde auch hier verfahren. Es mochte dem Ersten, der über die Gestalt der Erde nachgedacht hat, schwer genug fallen, sich von dem bis dahin nirgends bezweifelten Vorurteile einer durchaus ebenen Erde zu befreien und sie wenigstens im allgemeinen als eine große Kugel sich vorzustellen; aber es würde ihm ohne Zweifel noch viel schwerer, wo nicht ganz unmöglich gewesen sein, die wahre Gestalt dieser Erde mit allen ihren kleinen Abweichungen von der Kugelform zu erkennen. Man begnügte sich Jahrhunderte hindurch mit der Voraussetzung, daß sie eine Kugel sei, und diese Voraussetzung genügte auch vollkommen für den gesamten Zustand der astronomischen Kenntnisse jener Zeiten.

Es hatte mit anderen Worten die Untersuchung bis dahin sich mehr mit der *Größe* als der eigentlichen *Gestalt* der Erde befaßt. Die Wege, die man zu diesem Zwecke eingeschlagen, laufen alle, wie der oben angezeigte, darauf hinaus, die *Länge* des Bogens eines größten Kreises der Oberfläche und den *Winkel* zu finden, der diesem Bogen am Mittelpunkte entspricht. Um den fraglichen Winkel leicht zu finden, verfiel schon *Eratosthenes* aus Kyrene (geb. 276 v. Chr.) auf die Idee, den Bogen so zu wählen, daß er in einem *Meridiane* lag, wo dann der gesuchte Winkel dem Unterschiede der, wie wir wissen, leicht zu bestimmenden Polhöhen der Endpunkte des Bogens gleich ist. Weit größere Schwierigkeiten machte die Messung des Bogens. Dieselbe könnte allerdings durch unmittelbare Anlegung des Maßstabes gefunden werden, wie dies bereits im Jahre 827 der Chalif *Almamun* in der Wüste Sindjar (Sennâr) ausführen ließ, und in neuerer Zeit *Mason* (1764—1768) in Pensylvanien gethan hat. Da aber dieses Verfahren bei einem großen Bogen (und kleine würden nicht die nötige Sicherheit gewähren, um von ihnen auf den ganzen Umfang der Erde zu schließen) äußerst beschwerlich, ja in den meisten Fällen wegen der Unebenheiten, Gewässer u. s. w. unausführbar wäre, so hat man es nach mannigfaltigen mehr oder minder unvollkommenen Versuchen, auf anderem Wege zum Ziele zu kommen, endlich vorgezogen, den Bogen durch eine Kette von Dreiecken mit einer kürzeren geraden Linie, der *Basis*, zu verbinden und bloß die letzte unmittelbar mit dem Maßstabe zu messen, während man in den Dreiecken nur die Winkel beobachtet, was mit großer Schärfe geschehen kann. Der holländische Astronom *Snellius* führte im Anfange des siebzehnten Jahrhunderts diese Art der *Vermessungen* ein. Nun erst konnte man auch auf die kleinen Abweichungen der Erde von der Kugelgestalt kommen, d. h. die Unterschiede mit Bestimmtheit zu entdecken hoffen, welche in der Länge von

Bogen, die zu gleichen Winkeln gehören, auf verschiedenen Teilen der Erdoberfläche bestehen.

So groß aber der Schritt auch war, den die Sache damit gemacht hatte, so bezeichnet doch erst das Auftreten des Franzosen Picard gegen Ende des 17. Jahrhunderts, der im Auftrage der Pariser Akademie bei einer ähnlichen Arbeit zuerst das Fernrohr anwendete, den Eintritt derjenigen Periode, von der eine genaue Lösung der Aufgabe zu erwarten stand. Dessen ungeachtet hielt man später infolge einer neuen Vermessung unter der Leitung der ausgezeichneten Astronomen La Hire, Dom. und Jak. Cassini die Erde durch nahe 40 Jahre für einen an den Polen zugespitzten Körper. Als man das Widersinnige dieser Annahme (s. unten § 13 III) erkannt hatte, wurden, um alle Zweifel zu lösen, wieder von der Pariser Akademie im Anfange des 18. Jahrhunderts 2 Kommissionen erprobter Geometer, die eine unter Bouguer und Condamine nach Peru, die andere unter Clairaut und Maupertuis nach Lappland geschickt, deren Messungen die Streitfrage mit der entschiedenen Bestätigung einer an den Polen abgeplatteten Gestalt der Erde beendeten.

Die spätere Vervollkommnung der Instrumente bewog die französische Akademie im Jahre 1792, durch Méchain und Delambre einen Meridianbogen von Dünkirchen bis Montjouy bei Barcelona mit aller nur möglichen Genauigkeit messen und diesen Bogen in den ersten Jahren unseres Jahrhunderts durch Biot und Arago bis zu der Insel Formentera, einer der Pityusen, fortsetzen zu lassen. Die Berechnung dieser Messungen wurde den Astronomen Bouvard, Burckhardt und Mathieu aufgetragen, und das Resultat der ganzen, einen Bogen von mehr als 12^0 oder 1400 km umfassenden Arbeit in dem großen Werke „Base du système métrique“ veröffentlicht.

Bei dieser Operation hatte die französische Akademie, wie schon der Titel des Werkes andeutet, nicht bloß die Ermittelung der Größe und Gestalt der Erde, sondern auch noch die Herstellung eines sogenannten Naturmaßes, d. h. die Feststellung einer unveränderlichen, immer wieder bestimmbaren Einheit des Längenmaßes im Auge, welche einem neuen französischen Maß- und Gewichtssysteme zu Grunde gelegt werden sollte. Die Grundeinheit dieses Systemes, das „Meter“, sollte seiner Idee nach den zehnmillionsten Teil eines Erdmeridianquadranten vorstellen, und damit eine von der Natur selbst gegebene Maßeinheit für immerwährende Zeiten hergestellt werden.

Übrigens war die Idee des Schaffens eines Naturmaßes damals nicht mehr neu. Sie wurde schon 1670 von Mouton angeregt, der hierfür die Länge eines Meridianbogens von 1′, also im Grunde die noch heute übliche Seemeile (s. unten), ja sogar bereits mit decimalen Unterabteilungen vorschlug. Um dieselbe Zeit beschäftigte sich auch die Royal Society zu London, unter ihrem Präsidenten Sir Christopher Wren wiederholt mit dieser Frage, ohne aber zu einem bestimmten Resultate zu gelangen, zum Teil, weil man schon damals die Unzu-

kömmlichkeiten erkannte, zu welchen man bei der Ausführung dieser Idee in der Praxis gelangen würde, zum Teil aber auch deshalb, weil man über die zu Grunde zu legende Einheit nicht im Klaren war, indem man zwischen der Länge des Sekundenpendels und des Erdmeridianes schwankte. Interessant ist es ferner, daß ein halbes Jahrhundert später Bouguer nochmals auf die Länge des Sekundenpendels als Naturmaß hinwies, indem er als ein solches diese Länge bei der Beendigung der oben angeführten peruanischen Gradmessung sogar auf der Inschrift eines Basispfeilers empfahl.

So bestechend nun die Idee eines Naturmaßes für den ersten Augenblick auch erscheinen mag, ist sie trotzdem unpraktisch, oder richtiger gesagt, eine Illusion. Was nämlich speziell das Meter betrifft, wäre dasselbe bloß ideal, als der zehnmillionste Teil des Erdmeridianquadranten festgestellt, bei jedesmaligem Bedarfe immer nur durch Ausführung einer Gradmessung, also alles eher als leicht zu reproduzieren: es war daher vor Allem eine materielle Darstellung desselben, ein Etalon, nötig, der nun als Métre prototype die Grundlage des ganzen Maßsystemes wurde. Damit hatte man aber bereits die Idee eines Naturmaßes fallen gelassen. Denn wenn man auch annehmen darf, daß der Erdkörper im Allgemeinen derselbe bleibe, (obwohl auch hier gewisse Veränderungen nicht unmöglich sind), hängt das Bestimmen seiner Größe doch von Beobachtungen und Berechnungsmethoden ab, hat somit, gleich jeder anderen Kenntnis des Menschen Vervollkommnungen zu erwarten, vermöge welcher jede neue mit genaueren Hilfsmitteln vorgenommene Messung im Allgemeinen einen von dem früheren abweichenden Wert ergeben wird. Um zu erkennen, wie schwerwiegend dieses Moment sei, wollen wir nur bemerken, daß die Länge des Erdmeridianquadranten auch gegenwärtig noch auf mehrere hundert Meter unsicher ist, trotzdem seither eine große Anzahl sehr genauer, teilweise auch ausgedehnterer Gradmessungen, in Deutschland, Rußland, Schweden, Ostindien, am Kap u. s. w. hinzugekommen ist, und daß, wie sich sehr bald zeigte, die Sicherheit der französischen Gradmessung erheblich überschätzt worden war. Denn als Bessel 1837 aus dem Complexe aller damals bekannten vertrauenswürdigen Operationen dieser Art die ihnen am besten entsprechenden Erddimensionen berechnete, fand er, daß der vierte Teil eines Erdmeridianes nicht 10 000 000 m sondern 10 000 856 m betrage, wenn man dem Meter seine ursprüngliche durch die französische Gradmessung eingeführte Länge läßt, so daß man diese vermeintlich für immer fixe Einheit der Längenmaße nahezu um $^1/_{10}$ mm vergrößern müßte, wenn man das früher beabsichtigte einfache Verhältnis des Meters zum Erdquadranten fortbestehen lassen will.

Sollte also nun der Wert des Meters oder das Verhältnis desselben zum Erdquadranten geändert werden? In Bezug darauf hatte bereits früher einmal die Pariser Akademie bei Gelegenheit der Auffindung eines Fehlers in der Berechnung der französischen Gradmessung erklärt, daß an eine Änderung des métre prototype nicht zu denken sei, und es auch fortan als Grundeinheit zu gelten

habe. Von diesem wurden bei der allgemeinen Einführung des metrischen Maßsystemes eine große Anzahl wohlverglichener Kopien angefertigt und in den verschiedenen Ländern deponiert. Damit ist das Haupterfordernis eines Grundmaßes, daß es stets denselben Wert behalte und leicht zu reproduzieren sei, erreicht, da jede Kopie das Original vollkommen ersetzt, und es kann jetzt auch von einem Verlieren des Maßes weiter keine Rede mehr sein.

Strenggenommen war ja auch die frühere geographische oder deutsche Meile ein Naturmaß im Sinne des Meter. Denn es wurde der Umfang des Äquators zu 5400 deutschen Meilen angenommen: es betrug daher 1^0 desselben 15 deutsche Meilen. Eine Bogenminute als der 60. Teil eines Grades oder $^1/_4$ geographische Meile ist noch heute als Seemeile bei den meisten seefahrenden Nationen im Gebrauche.

Nach Bessels oben angezogenen Rechnungen, die wir als die in Deutschland noch immer allgemein angewendeten auch in diesem Werke beibehalten haben, mißt der Umfang des Äquators 40 070·368 km. Eine geographische Meile beträgt demgemäß 7·420 oder sehr nahe $7^1/_2$ km: man kann daher alle Angaben nach Kilometern durch Division mit $7^1/_2$ in deutsche Meilen, und umgekehrt alle Angaben in deutschen Meilen durch Multiplikation mit $7^1/_2$ in Kilometer umwandeln.

Kapitel II.

Tägliche Bewegung der Erde.

§ 8. (Tägliche Bewegung des Himmels.) Wir haben bereits gesehen, daß der ganze Himmel mit allen seinen Gestirnen täglich einmal von Ost gen West um unsere Erde sich bewegt. So scheint es allerdings uns allen, daher denn auch diese Meinung nicht nur von dem gemeinen Manne, sondern, in den früheren Zeiten wenigstens, auch von den sogenannten Weisen so einstimmig angenommen wurde, daß man sie endlich durch eine sonderbare Vermischung der Begriffe als eine unantastbare Wahrheit zu betrachten anfing, an der zu zweifeln sogar für ein Verbrechen gehalten werden konnte.

Ehe wir aber die Richtigkeit dieser Meinung untersuchen, wird es nötig sein, die Erscheinung selbst, welche ihr zu Grunde liegt, näher zu betrachten. Erheben wir zu diesem Zwecke an einem hellen Abende in irgend einer ausgedehnten Ebene bald nach Sonnenuntergang unsere Augen zum Himmel, so erscheint er uns wie ein weites, beiläufig halbkugelförmiges Gewölbe mit Sternen von mannigfaltiger Größe besäet. Wenn wir nun einzelne, besonders auffallende Gruppen dieser Gestirne länger betrachten und ihre Lage gegen feste irdische

Gegenstände, z. B. gegen Bäume oder Türme, vergleichen, so finden wir, daß alle jene Sterne, ohne ihre gegenseitige Lage unter sich zu ändern, in einer gemeinschaftlichen Bewegung von Ost gen West begriffen sind. Wenden wir unser Gesicht gegen den bekannten Polarstern (§ 4 II) oder gegen Nord, so sehen wir die zur rechten Hand, auf der Ostseite liegenden, Sterne sich immer mehr über den Horizont erheben, indes jene auf der entgegengesetzten linken oder westlichen Seite immer tiefer herabsinken und, wenigstens die von dem Polarstern entfernten Gestirne, zuletzt ganz verschwinden, während zu gleicher Zeit im Osten wieder andere Sterne gleichsam aus der Erde heraufsteigen, um sich sofort den übrigen beizugesellen und gleich ihnen ihre Bewegung von Ost nach West fortzusetzen.

Eine geringe Aufmerksamkeit wird genügen, um zu zeigen, daß die Bahnen, welche diese Gestirne am Himmel beschreiben, alle kreisförmig sind. Von den dem Polarsterne nahen Gestirnen kann man die ganzen von ihnen beschriebenen Kreise in allen ihren Teilen übersehen, da sich diese Sterne immer über dem Horizonte befinden, und ohne auf- und unterzugehen (Einl., § 15) täglich ihre kreisförmige Bahn um einen festen Punkt, der dem Polarstern sehr nahe ist, zurücklegen. Zu solchen Gestirnen gehört z. B. das oben erwähnte Sternbild des Wagens.

Je größer aber die Entfernung der Sterne von jenem festen Punkte wird, desto größer werden auch die von ihnen beschriebenen Kreise, bis endlich, wenn diese Entfernung größer wird als die Höhe des Polarsterns, die unteren Teile der Kreise von dem Horizonte bedeckt und daher für uns unsichtbar werden. Allein wir haben bereits oben (§ 4 II) bemerkt, daß man nur von Süd nach Nord reisen darf, um den Polarstern in einer immer größeren Höhe zu erblicken, so daß also für die nördlicheren Gegenden unserer Erde immer mehr Sterne in allen Punkten ihrer Bahn sichtbar bleiben, zum Beweise, daß auch diejenigen Sterne, welche für südlichere Gegenden nur in den oberen Teilen ihres Kreises sichtbar sind, den unteren Teil desselben, der von unserer Erde verdeckt wird, unter dem Horizont zurücklegen. Könnte man so weit gegen Norden vordringen, daß der Polarstern endlich senkrecht über uns oder in unserem Zenithe stände, so würden wir alle Sterne des uns dort sichtbaren Himmels ohne Ausnahme ganze Kreise beschreiben sehen, da sie dort sämtlich dem Horizont parallel, nur immer größer sein würden, je näher sie dem Horizont selbst kommen. Dagegen wird, wenn wir, statt wie bisher gegen Norden, immer weiter nach Süden reisen, der Polarstern immer tiefer zu unserem Horizont herabsinken, während dafür andere, bisher ungesehene Sterne im Süden sichtbar werden, und die Kreise aller südlichen Sterne werden jetzt immer höher steigen, so daß von ihrem unteren Teile immer kleinere Bogen von dem Horizonte bedeckt werden. Rücken wir so weit auf unserer südlichen Reise vor, daß endlich der Polarstern den Horizont erreicht, so stehen jetzt die Kreise aller Sterne, deren Ebene bisher gegen Norden geneigt war, senkrecht auf unserem Horizonte, und wir sehen von jedem derselben genau die eine Hälfte über der Erde, während die andere Hälfte unter der Erde und

daher für uns unsichtbar ist. In dieser Lage ist derjenige Kreis, der gerade über uns steht, d. h. der durch unser Zenith oder durch unseren Scheitelpunkt geht, der größte von allen, und zu beiden Seiten dieses größten Kreises werden alle übrigen gleichmäßig immer kleiner, bis sie endlich in zwei einander entgegengesetzten Punkten des Horizonts gänzlich verschwinden. Diese zwei Punkte sind zugleich die einzig unbeweglichen Punkte des Himmels, von welchem der eine, wie bereits oben erwähnt, der Nordpol, und der andere, ihm entgegengesetzte, der Südpol des Himmels heißt, während der jetzt durch unser Zenith gehende, oder der größte aller Parallelkreise, der Äquator des Himmels genannt wird (Einl., § 5).

Setzt man endlich diese Reise in südlicher Richtung noch weiter fort, so erhebt sich nun der früher unsichtbare Südpol immer mehr über die Erde, und die ihn zunächst umgebenden Sternenkreise befreien sich immer mehr von dem Horizonte; kurz, dieselben Erscheinungen, die wir oben auf der Reise nach Norden an den nördlichen Sternen bemerkten, kommen jetzt in derselben Ordnung an den südlichen wieder, bis wir endlich dahin gelangen, wo der Südpol gerade über uns steht und alle Sternenkreise wieder mit unserm gegenwärtigen Horizonte parallel stehen. Zugleich werden wir bemerken, daß alle die Sterne, welche wir jetzt unter dem Südpole sehen, durchaus von denjenigen verschieden sind, welche wir früher unter dem Nordpole erblickten, oder daß wir hier die südliche und dort die nördliche Halbkugel des Himmels gesehen haben.

Das Vorhergehende zeigt, daß der kugelförmige Himmel mit allen seinen Gestirnen sich täglich von Ost gen West um eine gerade Linie als um eine Achse dreht, welche durch die beiden erwähnten festen Punkte desselben, durch den Nord- und Südpol des Himmels und damit auch durch die Polaraxe der Erde geht.

§ 9. (Äußere Wahrscheinlichkeit der Bewegung des Himmels.) Diese Erklärung der beobachteten täglichen Bewegung der Gestirne, durch eine Rotation des Himmels um eine fixe, durch den Mittelpunkt der Erde gehende Achse ist so einfach und der Sache selbst so angemessen, daß sie für eine unmittelbare Bezeichnung der Erscheinung selbst oder gleichsam nur für einen andern Ausdruck derselben angesehen werden kann. Auch werden dadurch alle einzelnen Umstände des ganzen Phänomens so genau dargestellt, daß man an der Richtigkeit der Erklärung selbst nicht leicht zweifeln kann.

Dessenungeachtet wäre es vielleicht nicht ganz überflüssig, auch hier auf unserer Hut zu sein. Wir wissen bereits, welchen Täuschungen unsere Sinne und welchen oft noch viel größeren Irrtümern die Schlüsse unterworfen sind, die wir auf die Eindrücke dieser Sinne zu bauen pflegen. Auch haben wir an dieser unserer Erde selbst bereits gelernt, uns vor solchen Täuschungen zu bewahren, da sie uns allen ebenso unbezweifelt als eine Ebene erschien und nichtsdestoweniger doch eine ganz andere Gestalt hat.

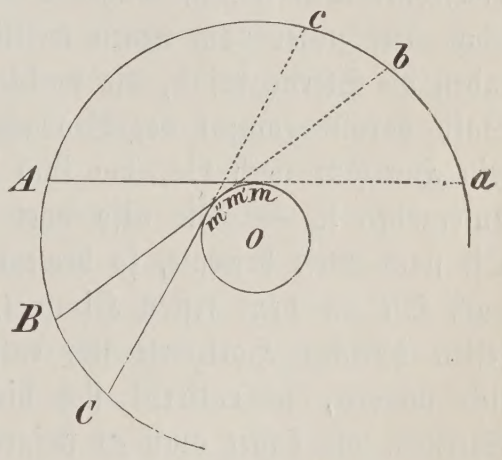
Wir müssen daher, ehe wir weiter gehen, zusehen, ob sich von derselben

Erscheinung, von der täglichen Bewegung der Gestirne um die Erde, nicht noch eine andere Erklärung, eine andere Hypothese aufstellen lasse, welche vielleicht die Sache genau ebenso darstellt wie jene. Wenn wir eine solche finden sollten, so wird es darauf ankommen, die inneren Gründe beider Hypothesen abzuwägen und dadurch vielleicht zu entscheiden, welche von ihnen auf der Seite der Wahrheit liegt.

§ 10. (Erklärung jener Erscheinung durch die Rotation der Erde.) Wir haben bisher angenommen, der Himmel drehe sich täglich von Ost gen West um die in seinem Mittelpunkt ruhende Erde. Wie aber, wenn wir den Himmel in Ruhe lassen und dafür die Erde, aber in entgegengesetzter Richtung, in Bewegung setzen? Wie, wenn wir annehmen wollten, die Erde drehe sich täglich von West gen Ost um die durch ihren Mittelpunkt gehende Achse, während der sie rings konzentrisch umgebende Himmel in völliger Ruhe bleibt?

So sonderbar diese Meinung auch auf den ersten Blick erscheinen mag, so kann man doch nicht leugnen, daß durch sie jene Erscheinung ganz ebenso gut und vollständig erklärt wird wie durch die vorhergehende. Die Sterne, so sagten wir, und so scheint es uns in der That, steigen bei ihrem Aufgange an der Ostseite des Himmels über unseren *festen* Horizont herauf und nähern sich demselben wieder bei ihrem Untergange auf der Westseite, wo sie immer tiefer sinken und endlich ganz verschwinden. — Allein diese ganze Erscheinung mit allen sie begleitenden und oben bereits erwähnten Umständen wird auch ebenso gut statthaben, wenn die Sterne des Himmels alle ruhig stehen bleiben, und wenn dafür die Erde in einer entgegengesetzten Richtung oder von West gegen Ost sich um ihre Achse dreht. Dann wird nämlich auch der Beobachter, wenn er sonst seinen Ort auf der Erde nicht ändert, sich mit derselben nach Osten bewegen, und da der Horizont (Einl., § 6) eines jeden Beobachters immer durch den Fußpunkt desselben geht, so wird auch dieser Horizont, der nach der ersten Hypothese *fest* war, jetzt *beweglich* sein und sich mit dem Beobachter und mit der ganzen Erde selbst von West nach Ost drehen müssen.

Fig. 6.



Sei O (Fig. 6) der Mittelpunkt der Erde mm'm" und CBAcba der sie umgebende Himmel; bewegt sich der Himmel von Ost nach West in der Richtung CAc um die ruhende Erde, so sieht der *ruhende* Beobachter m über seinen *festen* Horizont Aa diejenigen Sterne des Himmels, welche bei A stehen, aufgehen, während ihm die bei a eben untergehen. Nach einiger Zeit hat sich der Himmel von der linken zur rechten Hand gedreht, so daß der Punkt B nach A

gestiegen und der Punkt b nach a gefallen ist, und daß daher für den Beobachter in m jetzt diejenigen Sterne aufgehen, welche bei B stehen, und dafür die bei b, welche vorhin noch in beträchtlicher Höhe über dem Horizonte standen, untergehen. Bald darauf werden die Sterne bei C auf-, die bei c untergehen u. s. w. — Bewegt sich aber die Erde von West nach Ost in der Richtung mm'm", so dreht sich mit ihr auch der Beobachter sowohl als sein Horizont, da der letztere immer durch den Fußpunkt des Beobachters geht und in diesem Fußpunkte die Oberfläche der Erde berührt. Denkt man sich diesen Horizont bis an die Oberfläche des Himmels erweitert, so wird er, wenn der Beobachter in m ist, durch die Punkte A und a des Himmels gehen, oder die Sterne bei A werden ihm aufzugehen, jene bei a aber unterzugehen scheinen. Nach einiger Zeit hat sich die Erde und mit ihr der Beobachter von m nach m' gedreht, und der Horizont des Beobachters wird jetzt die Lage Bb annehmen. Der Horizont wird sich also in der Zwischenzeit auf der Ostseite von A und B entfernt haben, und die Sterne bei A, die uns vorhin eben aufzugehen schienen, werden nun schon hoch über dem östlichen Horizonte m'B stehen, während die Sterne bei a, die vorhin untergingen, jetzt schon tief unter dem neuen westlichen Horizont m'b stehen und unsichtbar sind, indeß die Sterne bei b, die vorhin noch beträchtlich hoch standen, eben untergehen. Bald darauf kommt der Beobachter mit seiner beweglichen Erde nach m" und sein Horizont nach Cc, wo ihm dann die Sterne bei C auf- und jene bei c untergehen ꝛc. — Wie also dort der Himmel sich um den festen Horizont von Ost nach West bewegte, so bewegt sich hier der veränderliche Horizont von West nach Ost an dem festen Himmel, und wie dort die sichtbaren Sterne von dem festen östlichen Horizonte sich entfernen oder höher steigen und dem westlichen sich nähern, so entfernt sich hier der bewegliche östliche Horizont von seinen Sternen, die daher auch zu steigen scheinen, während sich der westliche Horizont den auf der Westseite liegenden Sternen nähert und sie dadurch ihrem Untergange immer näher bringt.

Beide Hypothesen stellen also die Erscheinung, die dadurch erklärt werden soll, gleich gut und vollständig dar, und so lange es bloß um diese Darstellung der äußeren Erscheinung zu thun ist, hängt auch die Wahl zwischen beiden bloß von unserer Willkür ab, da keine derselben einen Vorzug vor der andern hat und nichts in ihnen selbst liegt, was uns zu der Annahme der einen oder der andern vorzugsweise bestimmen könnte.

§ 11. (Innere Wahrscheinlichkeit der Rotation der Erde. I. Aus der Geschwindigkeit.) Allein verhält es sich ebenso mit den inneren Wahrscheinlichkeiten dieser beiden Voraussetzungen? — Dort bewegt sich der Himmel, während wir in gemächlicher Ruhe stille sitzend zusehen; hier aber lassen wir den Himmel ruhen, während wir mit unserer Kugel uns um uns selbst drehen, und zwar mit einer in der That sehr großen Geschwindigkeit, die unter dem Äquator 27·8 km in einer Minute beträgt. Wer von uns hat aber von dieser Geschwindigkeit, mit welcher wir alle täglich

um den Mittelpunkt der Erde fahren sollen, auch nur das Geringste bemerkt? Wer wird also auch für diese zweite Hypothese stimmen und nicht auf den ersten Blick die andere für die unendlich wahrscheinlichere, für die allein wahre erklären?

Auf den ersten Blick allerdings. — Allein die Sache ist doch wohl auch eines *zweiten* Blickes und überhaupt einer näheren Betrachtung wert.

Was zuerst diese Geschwindigkeit der Erde betrifft, so werden wir bald mit noch viel größeren Geschwindigkeiten in der Natur bekannt werden, gegen welche diese, so groß sie auch manchem erscheinen mag, beinahe gänzlich verschwindet. Sie ist im Äquator eben nicht viel größer als die Geschwindigkeit des Schalles, welche nach Regnault 19·8 km in der Minute beträgt, wird aber, je weiter der Ort vom Äquator entfernt ist, desto kleiner, weil die Parallelkreise der Erde, in deren Ebene jene Bewegung vor sich geht, in größeren Entfernungen von demselben ebenfalls immer kleiner werden (Einl., § 14). So bewegt sich Wien, welche Stadt in dem Parallelkreise liegt, dessen Breite 48° beträgt (Einl., § 12), in einer Minute durch 18·6 km, Petersburg aber in der Breite von 60° nur durch 13·9 km, und noch näher an den beiden Polen der Erde wird endlich diese Bewegung so klein, daß man sie beinahe für eine absolute Ruhe halten kann.

Welche ganz andere Geschwindigkeiten aber werden wir erhalten, wenn wir, gar zu sehr auf die Ruhe unserer Erde bedacht, dafür den ganzen Himmel um sie in Bewegung setzen wollen! Der Mond z. B. ist, wie wir später sehen werden, im Durchschnitte 384 000 km von dem Mittelpunkte der Erde entfernt; also müßte er, wenn er seine Bahn um die Erde von mehr als 2 400 000 km in 24 Stunden vollendet, in jeder Minute 1670 km zurücklegen, somit über 60 mal geschwinder gehen als jener schnellste Punkt des Erdäquators. Die Sonne aber, welche gegen 150 Millionen km von der Erde entfernt ist, müßte in jeder Minute 654 000 km zurücklegen, also über 23 000 mal geschwinder gehen als jene Punkte der Erde. Und damit sind wir noch lange nicht an der Grenze dieser Geschwindigkeiten angekommen, da es Körper des Himmels gibt, deren Entfernung von der Erde, wie wir bald sehen werden, so groß ist, daß selbst diese ungeheure Distanz der Sonne von 150 Millionen km als ein bloßer Punkt dagegen verschwindet. Mit welcher entsetzlichen, mit welcher unbegreiflichen Geschwindigkeit müßten diese Körper um unsere Erde geschleudert werden, und man bemerke wohl: *zu welchem Zwecke* müßten sie es? — Um uns in unserer Ruhe nicht zu stören. Als ob sie alle nur unsertwegen und um unserer Bequemlichkeit willen da wären!

(II. Aus der Größe der übrigen Weltkörper.) Nicht minder unbillig, ja unbescheiden wird uns diese Voraussetzung einer ruhenden Erde erscheinen, wenn wir bedenken, welche *Massen* wir dafür in Bewegung setzen wollen. Die Sonne ist, wie wir wieder späteren Betrachtungen vorgreifend bemerken, so groß, daß man aus ihr gegen 1 300 000 solche Kugeln wie unsere Erde formen könnte, und doch soll dieser ungeheure Körper sich um einen $1\frac{1}{3}$ Millionen mal kleineren bewegen, und zwar mit einer 23 000 mal größeren Geschwindigkeit, als diese

Erde selbst sich drehen müßte. Und wie viele Tausende von ebenso großen und wohl noch größeren Körpern finden wir am Himmel, von welchen allen dieselbe höchst unwahrscheinliche Voraussetzung gelten müßte: daß das Große sich um das viel Kleinere, daß der ganze Himmel mit allen seinen zahllosen Gestirnen, deren Größe ebenso unbegreiflich ist wie ihre Entfernung, sich um diese kleine Kugel, um einen Punkt bewegen soll, der gegen das übrige Weltall als ein wahres Nichts gelten muß, und dies alles bloß darum, weil dieser Punkt unser Wohnort ist, dessen Existenz die Bewohner jener unzähligen und von ihm so weit entfernten Himmelskörper nur in den seltensten Fällen kennen.

(III. Aus der Rotation anderer Himmelskörper.) Endlich wird es auch hier, wie bei Untersuchung der Kugelgestalt der Erde, erlaubt sein, diese Erde nicht bloß als unseren Wohnort, sondern als einen derjenigen großen Körper zu betrachten, die in so bedeutender Anzahl unseren nächtlichen Himmel schmücken. Wir kennen schon mehrere derselben, an welchen wir mit unsern Fernrohren ebenfalls eine Rotation, und zwar auch in der Richtung von West gen Ost, beobachten. Der Mond dreht sich in $27^3/_{10}$ Tagen um seine Achse, die Sonne in etwa 25 Tagen, Mars beinahe in einem Tag wie unsere Erde, und Jupiter endlich, der größte unter allen Planeten, vollendet seine Rotation bereits in 9—10 Stunden. Ein Beobachter auf der Oberfläche dieses Planeten sieht also den ganzen Himmel in der kurzen Zeit von noch nicht 10 vollen Stunden um sich rotieren und doch ist diese Erscheinung nur eine leere Täuschung, da nicht der Himmel, sondern er selbst es ist, der sich samt seinem Wohnort um die Achse desselben dreht. Wenn wir also diese Rotation bei so vielen andern Himmelskörpern bemerken, warum sollten wir sie nicht auch bei unserer Erde voraussetzen dürfen?

(IV. Aus der Gleichförmigkeit der Bewegung so vieler Himmelskörper.) Und welcher Art ist die Bewegung, in welcher wir alle diese Körper um unsere Erde führen wollen? — Ganz gleichförmig. Alle, die kleinen wie die großen, die nahen wie die fernen, alle sollen sich genau in derselben Zeit, in 24 Stunden, um uns bewegen. Welches auch die unbegreifliche Kraft der Erde sein mag, so unglaubliche Erscheinungen hervorzubringen, so müßte sie doch, den Gesetzen der Mechanik gemäß, auf die ihr näheren Körper anders wirken als auf die entfernten, während sie im Gegenteile hier alle gleich beteilt, und auf den uns nahen Mond nicht anders als auf die billionenmal weiter entfernten Fixsterne wirkt. Alle ohne Ausnahme werden von dieser Kraft mit einer Regelmäßigkeit in dem Weltraume fortgeführt, daß auch nicht einer derselben eine Sekunde zu früh oder zu spät kommt, als ob ihre ganze Bestimmung nur die wäre, unsere Uhren zu regulieren und uns das alle Nächte wiederkommende Schauspiel ihrer einförmigen Prozession aufzuführen.

(V. Aus dem Mangel eines Mittelpunktes dieser Bewegung.) Ja, diese abenteuerliche Kraft der Erde zugegeben, wo sollen wir den eigentlichen Sitz derselben aufsuchen? Doch wohl in dieser Erde selbst und zwar in dem Mittelpunkt derselben. — Aber die tägliche Rotation des Himmels geht ja nicht eigentlich um den Mittel-

punkt der Erde, sondern, wie wir gesehen haben, um die Achse derselben, nämlich in parallelen Kreisen vor sich, deren Mittelpunkte alle in dieser Achse (Einl., § 14), einer geraden Linie liegen, von welcher nur der kleinste Teil mit der Erde selbst zusammenfällt, während die beiden übrigen Seiten derselben sich bis an den endlosen Himmelsraum erstrecken. Die Kraft, welche jeden Stern in seinem Parallelkreise treibt, muß doch wohl in dem Mittelpunkte dieses Kreises liegen. Allein dieser Mittelpunkt ist bei den meisten Sternen ganz außer der Erde und in einer Entfernung von ihr, gegen die sie selbst als ein bloßer Punkt anzusehen ist. Dieser Mittelpunkt des Kreises, dieser Sitz jener sonderbaren Kraft ist also ein bloß imaginärer, ein ganz leerer Punkt im Weltraume. Und da sich diese Sterne immer langsamer bewegen, je näher sie den beiden Polen kommen, so fordert auch jeder von ihnen eine eigene, immer abnehmende Kraft, und der Sitz aller dieser so äußerst verschiedenen Kräfte, zu beiden Seiten der Erde ins Unendliche hin, ist eine eingebildete, durch nichts bezeichnete gerade Linie! — Solchen Unwahrscheinlichkeiten, solchen Widersprüchen müßten wir uns aussetzen, nur um unsere eigene Ruhe zu retten. Denn wie wir uns entschließen, anzunehmen, daß *wir* es sind, die wir uns samt unserer Erde täglich um ihre Achse bewegen, so fallen sofort alle jene, früher unlösbaren Einwürfe weg, und das ganze erst so rätselhafte Phänomen steht nun in seiner Ursache rein und klar vor unseren Augen. Wenn wir daher nicht wieder zu dem krystallenen Himmel der Alten unsere Zuflucht nehmen und mit ihnen voraussetzen wollen, daß alle Gestirne an einer soliden Kugelschale, wie Diamantnägel an einem schwarzen Samtgewölbe, befestigt sind, eine Annahme, die mit allen unseren Beobachtungen über die Entfernung der Himmelskörper im direkten Widerspruche steht, und die wir auch schon wegen der beweglichen Gestirne, die wir bald näher kennen lernen werden, als ganz unzulässig von uns weisen müssen, — wenn wir noch Sinn für Wahrheit und für Überzeugung durch Vernunftgründe haben wollen, so bleibt nichts übrig, als die Hypothese von der Ruhe der Erde für unstatthaft zu erklären, und dafür jene andere Voraussetzung, die von der täglichen Bewegung derselben um ihre Achse, als die einzig wahre anzuerkennen.

§ 12. (Einwürfe gegen die Rotation der Erde.) Wenn aber das Vorhergehende nur von der Unwahrscheinlichkeit, oder richtiger gesagt der Unzulässigkeit der Ruhe der Erde zeugt, also gleichsam als ein negativer Beweis für die Bewegung derselben anzunehmen ist, so fehlt es uns auch nicht an unmittelbaren, positiven Beweisen für dieselbe. Ehe wir jedoch auf diese eingehen, wollen wir den wichtigsten und schwerwiegendsten Einwurf beantworten, der gegen dieselbe gemacht wurde, und den mancher Zweifler gewiß selbst schon gemacht hat: „Warum fühlen wir denn diese Bewegung der Erde nicht?"

Dieser Frage kann man sofort mit der Gegenfrage begegnen: „Was sollen wir denn von dieser Bewegung fühlen?" Etwa ein Rütteln, das hier gar nicht statthaben kann, da gerade diese Bewegung vielleicht die einzige in der Natur ist,

welche immer mit gleicher Geschwindigkeit und ohne allen Stoß vor sich geht. Fühlen wir doch auch die Bewegung des Schiffes nicht, wenn es über den glatten Wasserspiegel hingleitet, obschon wir dieser Bewegung sehr gewiß sind, weil wir alle Gegenstände am Ufer vor uns vorübereilen sehen, die, wie wir wohl wissen, unbeweglich auf demselben stehen. Und doch ist die Bewegung des Schiffes noch lange nicht so gleichförmig wie die der Erde, da das Schiff nicht selten von Wind und Wellen hin und her getrieben wird und seinen Lauf oft ändert. — Übrigens ist dieses Beispiel eines auf der ruhigen Wasserfläche hingleitenden Schiffes ein sehr treues Bild unserer gemeinschaftlichen Fahrt auf dem Weltenschiffe, der Erde, die wir, wenn wir sie gleich nicht unmittelbar fühlen, doch sehr gut in dem schnellen Vorübereilen der festen Inseln, der glänzenden Körper erkennen, welche aus dem unermeßlichen Ozean des Himmels hervorragen. *Außer* unserm Schiffe scheint alles in Bewegung, wenngleich in der That alles still steht; in *demselben* aber, wo sich alles zugleich mit uns bewegt, können wir diese Bewegung unseres Schiffes nicht bemerken, nicht einmal an der Luft, die wir atmen, weil die Atmosphäre der Erde sich mit der Erde zugleich, mit derselben Geschwindigkeit und nach derselben Richtung bewegt.

Aber, könnte man weiter einwenden, wenn wir nun samt unserer kugelförmigen Erde uns täglich einmal um ihre Achse drehen, ohne es zu merken, so müssen wir ja, wenn wir jetzt aufrecht stehen, 12 Stunden später alle den Kopf abwärts tragen oder den Kopf unten und die Füße oben haben, — und auch dies sollen wir nicht bemerken?

Durch unsere Reisen um die Welt ist es doch wohl eine ausgemachte Sache, daß wir Gegenfüßler oder Antipoden haben, d. h. daß es gegenüber von der Gegend der großen Kugel, die wir bewohnen, auch noch Menschen und Tiere giebt, die ebenfalls wie wir auf ihren Füßen und nicht auf ihren Köpfen gehen, obschon sie ihre Füße *gegen* die unseren, also, in der Sprache jenes Einwurfs zu reden, aufwärts gerichtet haben. So sind die Bewohner der Insel Sumatra in Ostindien denen der Stadt Quito in Süd-Amerika gerade entgegengesetzt, so daß eine gerade Linie, durch diese Orte gezogen, durch den Mittelpunkt der Erde geht, und daß die Bewohner sich, wenn die Erde immer kleiner würde, endlich mit ihren Fußsohlen berühren würden. Beide stehen also in der That in einander ganz entgegengesetzten Lagen, und beide gehen doch, den Kopf aufwärts, mit ihren Füßen auf der Erde.

Daraus ersieht man unmittelbar, daß wir uns vor Allem erst selbst darüber klar werden müssen, was wir denn *aufrecht stehen* nennen? Doch wohl: mit den Füßen gegen die Erde und mit dem Kopfe gegen den Himmel gerichtet sein! Oben ist also, was weiter von der Erde, und *unten*, was näher bei der Erde ist, und ganz ebenso werden diese Worte auch von unseren Antipoden verstanden; denn auch sie glauben ohne Zweifel, daß sie den Kopf über den Füßen tragen, weil er auch bei ihnen weiter als diese von der Erde weggekehrt, weil er auch

bei ihnen wie bei uns dem Himmel zugewendet ist. Der Regen fällt für sie ganz ebenso von d nach D (Fig. 5 Seite 29), nämlich vom Himmel zur Erde herab, wie er bei uns von a nach B zur Erde herabfällt, und beide Richtungen dD und aB, wenn sie gleich an sich entgegengesetzt sind, sind es doch nicht mehr in Rücksicht auf die Bewohner der Erde, die alles auf den Mittelpunkt C derselben beziehen, da für sie der Regen, so wie auch jeder andere Körper, immer in derselben Richtung, nämlich immer gegen den Mittelpunkt der Erde fällt, weil ihn die Erde nach ihrem Mittelpunkte C anzieht.

Warum fallen aber dann, hört man die Leute fragen, nicht auch Sonne, Mond und Sterne zur Erde, wenn diese alles zu ihrem Mittelpunkte anzieht? — Einfach deshalb, weil kein Körper in der Natur seine Stelle ändert, ohne daß er durch eine fremde Kraft dazu gezwungen wird. Wenn der Stein auf unserer Erde gehalten werden muß, damit er nicht falle, so kommt dies daher, weil er von der Kraft der Erde, von der Schwere angezogen wird. Aber die Sterne werden von ihr nicht mehr angezogen, weil die Erde viel zu klein und zugleich viel zu weit von ihnen entfernt ist, um noch auf sie wirken zu können, daher denn auch die Sterne keiner Unterstützung bedürfen, um dieser Anziehung der Erde entgegenzuwirken.

Was den Mond betrifft, würde er allerdings auf die Erde fallen, wenn die Centrifugalkraft (unten § 13 III) ihn nicht daran hindern und in seiner Bahn erhalten würde. Bei der Sonne hingegen befinden wir uns, wie wir sogleich sehen werden, abermals in einem Irrtum, wenn wir glauben, sie bewege sich um die Erde; gerade das Gegenteil ist der Fall, und wir müßten daher vielmehr fragen, warum die Erde nicht auf die Sonne fällt, als umgekehrt.

§ 13. (Beweise für die Rotation der Erde. I. Fall der Körper von größeren Höhen.) Es ist allgemein bekannt (Einl., § 6), daß alle Körper, wenn sie ihrer Unterstützung beraubt werden, senkrecht auf die Oberfläche der Erde oder in der Richtung gegen den Mittelpunkt derselben herabfallen. Dies wurde lange Zeit hindurch als ein direkter Beweis gegen die Umdrehung der Erde angesehen, und selbst Männer wie Tycho ließen sich zu diesem Fehlschlusse verleiten. Sie meinten nämlich, daß ein z. B. von der Spitze eines Turmes fallender Stein, bei einer gegen Ost rotierenden Erde, nicht mehr an dem Fuße des Turmes oder senkrecht unter seinem Abgangspunkte, sondern daß er westlich vom Turme zur Erde fallen müßte, weil der Turm während des Falles des Steines durch die Bewegung der Erde weiter gegen Ost vorgerückt wäre. Da aber dieses allen unseren Erfahrungen entgegen läuft, hielt man eben dadurch die Umdrehung der Erde für vollkommen widerlegt.

Erst Newton hat von dieser Sache, wie von so vielen anderen, die richtigen Begriffe aufgestellt, und selbst dieser große Geist erkannte sie, wenigstens anfangs, nicht ganz in ihrem wahren Lichte. Am 28. November 1679 schrieb er an die Royal Society in London, daß er ein Mittel gefunden habe, die Umdrehung

der Erde durch unmittelbare Beobachtungen, deren man bisher entbehrt hatte, zu beweisen, und zwar durch die Beobachtung des Falles kleiner, dichter Körper aus sehr beträchtlichen Höhen, z. B. von der Spitze eines Turmes. Hat nämlich die Erde keine Bewegung um sich selbst, so werden jene Körper in einer senkrechten Linie zur Erde fallen; hat sie aber eine solche gegen Osten, so werden sie am Ende ihres Falles eine Abweichung von der senkrechten Linie gegen Osten, und nicht, wie man früher glaubte, gegen Westen zeigen. Denn wenn die Erde sich um ihre Achse dreht, so müssen auch alle zur Erde gehörigen Körper, also auch die Luft, die sie umgiebt, und der Stein, welchen wir aus der Hand fallen lassen, an dieser Umdrehung teilnehmen, so daß der Stein während seines Falles eben dieselbe Bewegung haben wird wie die Turmspitze, von welcher er gefallen ist. Diese Spitze hat aber eine schnellere Bewegung nach Osten als der Fuß des Turmes, weil sie in größerer Entfernung von dem Mittelpunkte der Erde ist, also auch einen größeren Kreis um denselben beschreibt als der dem Mittelpunkte nähere Fuß des Turmes. Da der Stein diese schnellere Bewegung nach Osten während seines Falles beibehält, so wird er auch, wenn er die Erde erreicht, einen größeren Weg nach Osten zurückgelegt haben als der Fuß des Turmes und daher östlich von diesem Fuße niederfallen.

Die Royal Society erkannte sofort den großen Wert der in diesem Schreiben niedergelegten Ideen, und beauftragte ihren damaligen Sekretär Hooke, einen Gelehrten von ausgezeichnetem mathematischen Talente und ganz vorzüglichen Beobachter, Experimente darüber anzustellen. Diesem entging es gleich bei der ersten Betrachtung des Gegenstandes nicht, daß Newtons Darstellung unvollständig sei, und daß, wenn die Erde in der That rotiere, der Stein nicht bloß eine Ausweichung gegen Osten, sondern auch, wenigstens außer dem Äquator, noch eine, obschon geringe, Ablenkung, und zwar auf der nördlichen Hemisphäre gegen Süden zeigen müsse.

Hookes Versuche führten übrigens zu keinem entscheidenden Resultate, weil er seine Fallhöhen viel zu gering genommen hatte. Im Jahre 1791 wiederholte Guglielmini dieselben Versuche auf dem Turme Asinelli in Bologna, der eine Fallhöhe von 78 m darbot; allein auch diese Versuche gelangen nicht, weil der Luftzug im Innern des Turmes einen störenden Einfluß darauf hatte. Deshalb unternahm es Benzenberg im Jahre 1802, dasselbe Experiment auf dem Michaelsturme in Hamburg und 1803 und 1804 in dem Kohlenschachte zu Schlehbusch zu wiederholen. Er fand an dem letzteren dieser Orte bei einer Fallhöhe von 85 m eine östliche Abweichung von 11·4 mm, welches Resultat nahe genug mit der darüber aufgestellten Theorie übereinstimmt, nach welcher in Schlehbusch die östliche Ausweichung 10·5 mm, also nur 0·9 mm weniger betragen sollte als die Beobachtung ergab. Die oben erwähnte südliche Ablenkung ist für eine Fallhöhe von 85 m nur 0·001 mm, also ganz unmerklich. Noch genauere, von Reich im Dreibrüderschachte zu Freiburg 1832 angestellte Versuche

ergaben bei einer Fallhöhe von 158·5 m eine östliche Ausweichung von 28.4 mm in naher Übereinstimmung mit der Theorie, welche für dieselbe 27·5 mm fordert. Für größere Fallhöhen würden jene östlichen Ablenkungen viel beträchtlicher sein. So wäre z. B. für eine Fallhöhe von 3000 m, die nahe der Höhe des Ätna gleich ist, in unseren Breiten die Ablenkung gegen Osten bereits 2·6 m, während auch hier die südliche Ausweichung noch sehr klein sein und kaum 2 mm betragen würde.

(II. Passatwinde.) Unsere Seeleute wissen sehr wohl, daß in der Entfernung von etwa 20° vom Äquator nordwärts ein beständiger Nordostwind und ebenso weit vom Äquator auf der südlichen Seite ein Südostwind beinahe durch das ganze Jahr weht. Man nennt diese Winde die tropischen oder Passate (vents alisés oder tradewinds) und benützt sie in Segelschiffen gewöhnlich zur Überfahrt von Europa nach Amerika, indem man zuerst gegen Süden segelt und dann, wenn man in den Bereich dieser beständigen Ostwinde gekommen ist, sich von ihnen nach West führen läßt. Die Entstehung dieser hängt genau so wie die östliche Abweichung eines freifallenden Körpers unmittelbar von der Rotation der Erde ab. Jene Zone der Erde nämlich, die sich bis auf 23° zu beiden Seiten des Äquators erstreckt, ist, wie wir bald sehen werden, diejenige, deren Bewohner die Sonne in ihrem Zenithe sehen können, und wo es folglich am wärmsten ist, daher sie auch die heiße Zone genannt wird. In diesen Gegenden der Erde wird die sie umgebende Luft durch die größere Temperatur verdünnt und daher leichter gemacht, weshalb sie sich über die benachbarte nördliche und südliche kältere, also dichtere Luft erhebt und wenn sie eine gewisse Höhe erreicht hat, gegen die beiden Pole abfließt. Auf diese Weise entsteht zu beiden Seiten des Äquators in den höheren Gegenden der Atmosphäre ein beständiger Strom der Luft von dem Äquator nach den beiden Polen. Wenn aber diese Luft sich an dem Äquator von der Erde erhebt, so läßt sie daselbst einen verdünnten Raum zurück, in welchen die untere kältere und dichtere Luft von der Seite der beiden Pole eindringt, so daß also in der Nähe des Äquators in den unteren Gegenden der Atmosphäre ein beständiger Strom der kälteren Luft von den Polen gegen den Äquator, und in den oberen Gegenden ein entgegengesetzer Strom der wärmeren Luft von dem Äquator gegen die beiden Pole hin herrschen muß. Da aber die Atmosphäre an der Rotation der Erde von West nach Ost teilnimmt, wird jeder Teil der Atmosphäre dieselbe Rotationsgeschwindigkeit mit seinem Parallelkreise haben, also auch die den Polen nähere Luft sich langsamer drehen als die im Äquator. Wenn daher die untere Polarluft der heißen Zone längst der Oberfläche der Erde weiter strömt, wird sie wegen ihrer geringen Geschwindigkeit hinter der Erdoberfläche gegen Westen zurückbleiben und eben dadurch sich den Erdbewohnern daselbst als ein Stoß von Ost nach West, d. h. als ein beständiger Ostwind fühlbar machen, oder genauer zu sprechen, der von Nord gegen den Äquator ziehende untere Luftstrom wird, in Verbindung mit der östlichen Rotation der Erde, auf

der nördlichen Hemisphäre einen Nordostwind, und der von Süden kommende ähnliche Luftstrom auf der südlichen Hemisphäre einen Südostwind erzeugen.

Im Gegenteile werden diejenigen wärmeren Luftschichten der heißen Zone, die sich ihrer geringen Dichtigkeit wegen erheben und dann, wie wir oben gesehen haben, zu beiden Seiten gegen die Pole hin abfließen, wenn sie mit ihrer ursprünglich größeren östlichen Geschwindigkeit an der Oberfläche der Erde ankommen, der Erde gegen Ost voreilen, und uns daher auf der Nordseite des Äquators als ein Südwestwind, auf der Südseite desselben aber als ein Nordwestwind fühlbar werden, wodurch der Ursprung der so häufigen West- und Südwestwinde erklärt wird, die in ganz Europa und in den nördlichen Teilen des Atlantischen Meeres beinahe das ganze Jahr durch herrschen.

Obschon die die Erde umgebende Atmosphäre eine so geringe Dichtigkeit hat, daß die ganze Masse derselben von der unserer Erde wohl über hundert Millionen mal übertroffen wird, so würde doch ein beträchtliches Volumen dieser Luft z. B. von mehreren Kubikkilometern, wenn es von den Polargegenden in die Nähe des Äquators plötzlich versetzt werden könnte, dort wegen seiner so enorm verschiedenen Geschwindigkeit einen sehr heftigen Sturm erzeugen. Allein die soeben betrachtete Versetzung der Luft aus den Polar- in die Äquatorial-Gegenden geht nur sehr langsam und allmählich vor sich, so daß die sie unmittelbar berührende Oberfläche der Erde Zeit genug hat, auf diese Luftschichten zu wirken und ihnen, durch die Reibung derselben mit der Erde, nach und nach die Geschwindigkeit der letzteren zu erteilen. Die Folge davon ist, daß jene langsameren Luftschichten, wenn sie an den beiden Grenzen der heißen Zone ankommen und sich dem Äquator nähern, allmählich eine immer größere östliche Geschwindigkeit erhalten und sich mit der Erde selbst ins Gleichgewicht setzen werden, um so mehr, da die Parallelkreise, also auch ihre Geschwindigkeiten, in der Nähe des Äquators sich nur sehr wenig ändern. Daraus folgt, daß dieses Gleichgewicht der Geschwindigkeit der von den Polen zu dem Äquator strömenden Luftschichten mit der Geschwindigkeit der Erde, schon vor der Ankunft jener Schichten am Äquator, sich hergestellt haben wird, und daß daher jene beständigen Ostwinde nur an den beiden Grenzen der heißen Zone herrschen und in der Mitte derselben, am Äquator, nicht mehr fühlbar sein werden, wie es auch der Erfahrung vollkommen gemäß ist.

Zu derselben Kategorie von Beweisen für die Rotation der Erde, wie die Passate gehört noch eine Reihe anderer Erscheinungen, wie z. B. die allgemeine Richtung der Meeresströmungen, namentlich die des für Europa so wichtigen Golfstromes, das Dove'sche Drehungsgesetz der Winde u. s. w. Doch wollen wir, um den Leser nicht zu ermüden, auf diese Erscheinungen nicht weiter eingehen, sondern uns damit begnügen, auf dieselben hingewiesen zu haben.

(III. Abplattung der Erde, Centrifugalkraft.) Bei einer aufmerksameren Betrachtung Jupiters nehmen wir an ihm, außer der schon vorn (§ 11 III) besprochenen

Rotation noch eine andere Erscheinung wahr, die uns auf einen weiteren, direkten Beweis für die Axendrehung der Erde hinweist.

In einem starken Fernrohre erscheint nämlich Jupiter nicht ganz rund, sondern an seinen Polen stark abgeplattet. Ein ähnliche, wenngleich viel geringere Abplattung haben wir aber auch an unserer Erde kennen gelernt, indem die Resultate der oben (§ 7) besprochenen Gradmessungen sich dahin vereinigen, daß die Erde allerdings einer Kugel sehr ähnlich, aber doch keine eigentliche Kugel, sondern ein Körper ist, der durch die Umdrehung einer dem Kreise sehr nahen Ellipse um ihre kleine Achse entsteht. Nach Bessel's Berechnungen einer größeren Anzahl solcher Gradmessungen beträgt die kleine Achse dieser Ellipse oder die Entfernung des Mittelpunktes der Erde von jedem ihrer Pole 6356 km, und die halbe große Achse der Ellipse oder der Halbmesser ihres kreisförmigen Äquators 6377 km. Demnach hat also die Erde an ihren beiden Polen eine Abplattung von 21 km.

Sollte nun diese Abplattung, die wir auch am Jupiter bemerkten, und die, wie wir weiter hinzufügen wollen, am Saturn ebenfalls deutlich sichtbar ist, nicht vielleicht eine Folge der Umdrehung dieser Körper um ihre Achse sein, von welcher wir als beobachteter Wirkung auf die Ursache, nämlich die Rotation der Erde zurückschließen können?

Dies ist in der That der Fall. Denn die Abplattung ist eine einfache Folge der allbekannten Thatsache, daß, wenn ein Körper schnell in der Peripherie eines Kreises herumgetrieben wird, alle Teile desselben ein Bestreben äußern, sich von dessen Mittelpunkt zu entfernen. Dieses Bestreben, das man Schwungkraft oder Centrifugalkraft genannt hat, diese Kraft ist es, welche das Band einer geschwungenen Schleuder spannt und den Stein in derselben zurückhält, so daß er, selbst wenn er in seinem Schwunge senkrecht über uns und ohne Unterstützung ist, nicht zur Erde herabfallen kann. Durch dieselbe Kraft wird ein Faden, an dessen Ende eine Kugel befestigt ist, beim schnellen Umdrehen gespannt, ja sogar zerrissen: durch sie das Wasser in einem nur zum Teile gefüllten Eimer beim Drehen desselben um eine vertikale Achse an dessen Wänden emporgehoben und endlich aus ihm hinausgetrieben, ebenso wie auch beim Drehen einer Scheibe die lose auf ihr liegenden Gegenstände von derselben wegfliegen. Die Fliehkraft ist es auch, wie wir gleich hier bemerken wollen, welche die Planeten und Monde vor dem Sturze in ihre Centralkörper schützt, und in geschlossenen Bahnen um dieselben herumführt.

Es kann natürlich nicht unsere Aufgabe sein, alle die zahlreichen Erscheinungen, welche die Fliehkraft auf unserer Erde hervorbringt, zu besprechen: wir wollen daher hier nur noch eine hervorheben, welche mit der Abplattung der Erde im Zusammenhange steht.

Wenn man einen kreisrunden, elastischen Ring an einen Stift steckt, der in der Ebene dieses Ringes durch den Mittelpunkt desselben geht, und dann den Ring schnell um den Stift, als um seine Achse dreht, so nimmt er eine ovale

oder elliptische Gestalt an, indem diejenigen Teile desselben, die am weitesten von dem Stifte abstehen, also die schnellste Drehung erleiden, sich am meisten von der Drehungsachse zu entfernen streben, während die dem Stifte näheren Teile wegen ihrer geringeren Bewegung dieses Bestreben, sich von ihm zu entfernen, in einem geringeren Maße äußern, bis endlich die beiden Pole des Ringes, durch welche die Achse geht, und die gar keine Bewegung erleiden, auch von jener Kraft nicht weiter affiziert werden. Ebenso sinkt, wenn man eine weiche Kugel von nassem Thone auf die Töpferscheibe bringt und die Scheibe rasch umdreht, sofort der höchste Punkt, der eine Pol der rotierenden Kugel, näher zur Scheibe oder zu dem Mittelpunkte der Kugel, während die Teile derselben um den Äquator sich immer mehr aufblähen und von dem Mittelpunkte sich entfernen, so daß endlich die Kugel die Gestalt einer Pomeranze oder eines an seinen beiden Polen eingedrückten, abgeplatteten Körpers annimmt, den man ein Sphäroid oder ein Ellipsoid zu nennen pflegt. Wir bemerken ferner, daß die Teile um den Äquator sich desto mehr aufblähen, d. h., daß das Sphäroid desto abgeplatteter wird, je rascher die Umdrehung vor sich geht.

Genau dasselbe, wie der weichen Thonkugel, mußte nun auch unserer Erde widerfahren, wenn sie sich in der That um ihre Achse dreht, falls die Masse, aus der sie besteht, anfangs flüssig, oder doch wenigstens weich genug war, um einem größeren auf sie geäußerten Drucke nachzugeben.

Die Abplattung der Erde liefert uns daher nicht nur einen direkten Beweis für die Existenz einer Rotation der Erde, sondern sie zeigt auch, daß dieselbe ursprünglich in einem flüssigen Zustande sich befand, und erst später zu der festen Masse erstarrte, welche sie jetzt darstellt.

Was soeben von der Erde gesagt wurde, gilt auch von den übrigen Planeten, wobei nur noch hinzuzufügen wäre, daß die Abplattung von Jupiter und Saturn deshalb viel bedeutender ist, als die der Erde, weil deren Rotation viel schneller vor sich geht. Merkur, Venus und Mars rotieren sämtlich langsamer um ihre Achse, als die Erde: ihre Abplattung ist daher keinesfalls größer, als die jener. Wir dürfen uns deshalb auch nicht wundern, daß sie an diesen Himmelskörpern noch nicht nachgewiesen werden konnte. Denn der Unterschied von 21 km zwischen dem Polar- und Äquatorialhalbmesser der Erde, oder deren Abplattung beträgt nur den 299sten Teil ihres Halbmessers, — eine Größe, die wir auch bei unseren besten und größten Globen nicht mit freiem Auge unterscheiden können.

§ 14. (Schwere, Masse und Dichtigkeit der Körper.) Wir alle wissen aus Erfahrung, daß Körper, wenn sie ihrer Unterstützung beraubt werden, in einer zur Oberfläche der Erde senkrechten Richtung auf dieselbe herabfallen. Die Ursache dieser Erscheinung bezeichnen wir als Schwere oder Anziehungskraft der Erde und suchen sie in einer Kraft, deren Sitz im Mittelpunkte der Erde ist, und alle Körper außer ihr zu diesem Mittelpunkte anzieht. Dieser Annahme gemäß konvergieren die Richtungen der Schwere in verschiedenen Punkten der Erdoberfläche alle gegen den Mittelpunkt derselben.

Man nimmt weiter an, daß alle Körper der Natur aus unendlich kleinen, unteilbaren Bestandteilen, Atome genannt, zusammengesetzt sind, die ihrer Wesenheit und Gestalt nach unveränderlich, und von einander durch Zwischenräume, Poren, getrennt sind, so daß die einzelnen Körper nur durch die Natur und das Verhältnis der Atome zu ihren Poren verschieden sind. Auf jedes der Atome stellt man sich die Kraft der Schwere als unmittelbar wirkend vor, woraus sofort folgt, daß ihre Totalwirkung auf einen Körper, das sogenannte Gewicht desselben, der Summe der in ihm enthaltenen Atome, welche Summe man seine Masse nennt, proportional ist. Es wird daher, unter g die Intensität der Schwere, d. h. ihre Wirkung auf die Masseneinheit verstanden, die Relation zwischen Masse M und Gewicht P eines Körpers gegeben sein durch die Gleichung:

$$P = gM.$$

Die Masse eines Körpers wird desto größer sein, je näher dessen Atome aneinanderliegen, oder je größer seine Dichtigkeit D ist, und je mehr Raum derselbe einnimmt oder je größer sein Volum V ist, wodurch man die weitere Gleichung erhält:

$$M = DV.$$

Auf diesen beiden Ausdrücken beruhen alle Vergleichungen, die man über das Gewicht, die Massen und die Dichtigkeit der Körper anstellen kann.

Die Kraft, welche wir Schwere nannten, ist nur eine Äußerung des von Newton aufgefundenen Gesetzes der allgemeinen Gravitation, nach welchem sich alle Körper ihren Massen direkt und dem Quadrate der Entfernung ihrer Schwerpunkte von einander umgekehrt proportional anziehen. Bei einer Kugel liegt der Schwerpunkt in ihrem Centrum.

§ 15. (Verschiedenheit der Schwere auf der Erde.) Die Schwere ist also unter dem Äquator in ihrer Richtung der oben betrachteten Centrifugalkraft gerade entgegengesetzt, da beide Kräfte in der Ebene des Äquators und zwar in der Richtung des Halbmessers der Erde, in welchem der fallende Körper sich befindet, liegen, und da die erste den Körper zu dem Mittelpunkte der Erde herabzieht, während die zweite ihn davon zu entfernen strebt, wird durch die Centrifugalkraft die Schwere vermindert, so daß die Schwere bei einer um ihre Achse rotierenden Erde kleiner wird, als sie bei einer nicht rotierenden sein würde.

Wenn man aber den Halbmesser eines Kreises und überdies die Zeit seiner Rotation kennt, so ist es nach den ersten Grundsätzen der Mechanik sehr leicht, die daraus entstehende Centrifugalkraft jedes Punktes seiner Peripherie zu finden. Denn diese ist gleich der Zahl 39·4784, multipliziert mit dem Halbmesser des Kreises und dividiert durch das Quadrat seiner Umlaufszeit.*) Der Halbmesser des Äquators beträgt nach Bessel 6377·4 km und die Umlaufszeit

*) Ist nämlich π die Zahl 3·1415926, die Umlaufszeit des rotierenden Körpers t und der Halbmesser des Kreises r, so ist der Ausdruck für die Centrifugalkraft $f = \frac{4\pi^2 r}{t^2} = 39{\cdot}4784\ \frac{r}{t^2}$.

desselben 24 Stunden oder 86 400^s Sternzeit (Einl. § 23), woraus man leicht für die Centrifugalkraft 0·0338 m findet; d. h. wenn die Erde nicht um ihre Achse rotierte, so würde die Schwere am Äquator, die jetzt 9·7807 m beträgt, um 0·0338 m größer sein, also 9·8145 m betragen.

Der Unterschied dieser Schweren bei der ruhenden und bei der bewegten Erde ist, wie man sieht, nicht eben sehr bedeutend, da er nur $^1/_{289}$ der Schwere beträgt. Die Ursache dieser geringen Differenz ist die noch immer langsame Bewegung der Erde. Wenn aber die Geschwindigkeit ihrer Rotation größer oder, mit anderen Worten, wenn die Länge unseres Tages kürzer wäre, so würde dadurch die Centrifugalkraft der Erde größer und endlich so groß wie die Schwere selbst werden können. Der letztere Fall würde eintreten, wenn unser Tag 17 mal kürzer wäre, oder wenn er statt 24 nur 1·4 unserer gegenwärtigen Stunden betrüge. Dann würden also die Körper, wenn sie unter dem Äquator sich selbst überlassen werden, nicht mehr zur Erde fallen, sondern in jedem Punkte über der Erde frei stehen bleiben, ohne weiter einer Unterstützung zu bedürfen. Eine nur noch etwas vermehrte Geschwindigkeit der Rotation der Erde würde endlich alle Körper auf ihr, wenn sie nicht an ihrer Oberfläche befestigt sind, von derselben entfernen, oder die Körper würden dann von der Erde wegfliegen, so wie sie jetzt, wenn sie nicht unterstützt werden, zu ihr hinfallen.

Die Schwungkraft wird aber schwächer, je weiter man sich auf der Oberfläche der Erde von dem Äquator zu beiden Seiten desselben entfernt, indem mit der Annäherung zu den beiden Polen die Parallelkreise der Erde kleiner werden, und damit auch die Rotationsgeschwindigkeit eines auf demselben liegenden Punktes sich verkleinert. Die Centrifugalkraft wirkt überdies der Schwere nur im Äquator vollständig entgegen, wo die eine, die Schwere, die Körper senkrecht abwärts, und die andere, die Schwungkraft, dieselben ebenfalls senkrecht, aber aufwärts treibt. In allen übrigen Punkten der Erdoberfläche bilden diese beiden Richtungen einen desto größeren Winkel, je näher man gegen die Pole zu geht, weil die Richtung der Schwere gegen den Mittelpunkt der Erde wirkt, während die der Schwungkraft in der Ebene des Parallelkreises liegt, der nicht durch den Mittelpunkt der Erde geht. Die Folge davon ist, daß die Schwere in höheren Breiten nicht wie am Äquator um die ganze ohnehin geringere Schwungkraft, sondern nur um einen Teil derselben vermindert wird: es muß deshalb die Schwere, falls die Erde eine Rotation besitzt, gegen die Pole hin, an Intensität zunehmen.

Die Schwerkraft nimmt aber bei der Annäherung an die Pole noch aus einem zweiten Grunde zu. Wir haben nämlich bereits oben erwähnt, daß man dieselbe als eine Kraft auffassen kann, welche ihren Sitz im Mittelpunkte der Erde hat, und daß sie zunimmt, wenn wir uns ihrem Sitze, d. i. dem Mittelpunkte der Erde nähern. Dies geschieht aber bei einer Bewegung gegen die Pole zu, weil die Erde dem früheren (§ 13, III) zufolge an den Polen abgeplattet ist. Es wird daher auch noch aus diesem Grunde bei der Entfernung

vom Äquator eine Vergrößerung der Schwere stattfinden. Das folgende kleine Täfelchen mag zur Veranschaulichung dieser Verhälnisse dienen.

Breite	Schwere am Äquator	Zunahme der Schwere wegen Abnahme der Fliehkraft	Abplattung	Wirkliche Schwere
0°	9·7807 m	0·0000 m	0·0000 m	9·7807 m
15°	9·7807 =	0·0022 =	0.0011 =	9·7840 =
30°	9·7807 =	0·0085 =	0·0043 =	9·7935 =
45°	9·7807 =	0·0169 =	0·0086 =	9·8062 =
60°	9·7807 =	0·0254 =	0·0128 =	9·8189 =
75°	9·7807 =	0·0315 =	0·0160 =	9·8282 =
90°	9·7807 =	0·0338 =	0·0171 =	9·8316 =

Könnten wir nun diese Unterschiede der Schwere auf der Erde unmittelbar beobachten, so wäre damit ein neuer, und zwar sehr schöner Beweis für die Umdrehung der Erde geliefert.

Der Mittel dazu giebt es manche, aber die meisten davon sind nicht der Art, daß wir viel Gutes von ihnen zu hoffen hätten. Und hier begegnen wir einem andern Umstande, der nur zu oft in der Astronomie und überhaupt in allen Naturwissenschaften vorkommt und uns nicht selten in große Verlegenheit setzt. In der Mathematik und in anderen positiven Doktrinen ist es genug, einen Satz bewiesen oder ein gegebenes Problem richtig aufgelöst zu haben, um von der Wahrheit der Sache, die man sucht, überzeugt zu sein. Nicht so verhält sich die Sache, wenn es sich um Experimente oder um Beobachtungen handelt, durch welche irgend ein Problem aufgelöst, ein Satz bewiesen oder eine Erscheinung der Gegenstände außer uns erklärt werden soll. Diese Beobachtungen, durch welche hier die Sache ausgemacht werden soll, müssen mit unseren Sinnen, mit unseren Instrumenten angestellt werden. Allein unsere Sinne sind Irrtümern und Täuschungen, und unsere Instrumente, auch die vollkommensten, sind Fehlern unterworfen, und die Gegenstände, welche wir auf diese Weise untersuchen wollen, sind oft so klein oder so schwer aufzufassen, oder so sonderbar mit einander verwickelt, daß selbst geringe Fehler, die wir bei den Beobachtungen begehen, die größten und schädlichsten Wirkungen auf die daraus abzuleitenden Resultate erzeugen können. Es kann daher hier nicht genügen, irgend eine, wenn auch in der Theorie richtige Methode zu geben, um dadurch ein Problem vermittelst Beobachtungen aufzulösen, sondern man muß auch zugleich der praktischen Sicherheit dieser Methode gewiß sein, oder doch diejenigen Umstände, unter welchen sie mit Zuverlässigkeit angewendet werden kann, und die Folgen angeben, welche gegebene Beobachtungsfehler in den Resultaten, die man daraus ableiten will, hervorbringen können — ein Geschäft, das oft nicht weniger Umsicht und Scharfsinn erfordert, als die Auffindung der Methode selbst, und dessen oft nur zu häufige Vernachlässigung eine der Hauptursachen ist, warum mehrere Zweige der Natur-

wissenschaften noch nicht denjenigen Grad der Vollkommenheit erreicht haben, den wir mit so großem Vergnügen an anderen bemerken.

Das eben Gesagte läßt sich gerade hier durch eine Reihe instruktiver Beispiele erläutern. So verhält sich nach der ersten Gleichung des § 14 an verschiedenen Orten der Erdoberfläche das Gewicht (P) oder der Druck eines Körpers auf seine Unterlage, wie die Schwere an diesen Orten. Es scheint daher, als ob wir, um den Unterschied derselben zwischen Äquator und Pol festzustellen, nur nötig hätten, einen Körper zuerst am Äquator abzuwägen, denselben dann nach einem der Pole zu bringen, und dort wieder abzuwägen. Allein dieses Verfahren würde nicht zum Ziele führen, weil das Gewicht in der einen Schale der Wage denselben Veränderungen der Schwere unterliegt, also unter dem Pole ebenfalls um denselben Betrag schwerer geworden ist, daher auch unter ihm genau so, wie unter dem Äquator, dem Körper das Gleichgewicht hält.

Eher zum Ziele könnten wir mittelst Spiralfedern gelangen. Denken wir uns nämlich eine Spiralfeder, die an ihrem obersten Punkte befestigt ist, und an ihrem unteren ein Gewicht trägt. Bringt man diesen Apparat unter den Pol, und mißt man dort die Länge der Spiralfeder, was mit großer Schärfe geschehen kann, stellt man hierauf denselben Apparat, in allen seinen Teilen unverändert unter dem Äquator auf, so wird das nunmehr wegen der hier kleineren Schwere geringere Gewicht, die Spiralfeder nicht mehr auf dieselbe Länge ausziehen: man wird daher, um dies zu erreichen, einige Gewichte hinzufügen müssen, und die bekannte Größe dieser neuen Gewichte wird sofort auch die Differenz der Schwere an beiden Beobachtungsorten angeben. Allein die Gleichförmigkeit der Ausdehnung solcher Federn bei verschiedenen Gewichten, die Veränderlichkeit der elastischen Kraft, die Ausdehnung durch Temperatur, die Schwierigkeit des Transportes derselben und viele andere nicht geringe Hindernisse werden wohl auch hier nur wenig Hoffnung auf einen glücklichen Erfolg übrig lassen.

Auch an Fallversuche von hohen Türmen könnte man denken, da ein Körper am Äquator langsamer als an den Polen zur Erde fallen muß. So würde ein solcher in 6^s unter dem Äquator 176·1 m und unter den Polen 177·0 m fallen. Diese Differenz wäre allerdings bedeutend genug, um bemerkt zu werden. Allein man wird erstens an den für solche Versuche geeigneten Orten nicht leicht über so hohe Türme verfügen, und man würde zweitens, auch wenn man sie fände, bald auf Hindernisse in der Ausführung stoßen, die von dem Widerstande der Luft, von der Zugluft oder von der großen Schnelligkeit der Körper zu Ende ihres Falles kommen, so daß man auch diesen Weg zu unserem Ziele als ungangbar verwerfen wird.

Ebenso wenig dürften wir hoffen, einen besseren Erfolg zu erzielen, wenn wir den Versuch mit einer Atwood'schen Fallmaschine ausführen wollten. Dieselbe besteht bekanntlich aus einer sehr beweglichen Rolle, deren Faden an seinen beiden Endpunkten zwei beträchtliche und gleich große Gewichte trägt. Wenn das

eine derselben um einen noch so geringen Teil vermehrt wird, so beginnt es sofort zu fallen, und zwar desto langsamer zu fallen, je größer jene beiden gleichen Gewichte zusammengenommen gegen das neu hinzugekommene sind. Wenn man den Fall des schwereren Gewichtes z. B. während einer Minute genau messen und dann dieselbe Beobachtung an einem andern Orte der Erde wiederholen wollte, so würde man allerdings zwei verschiedene Fallhöhen finden und daraus auf die Verschiedenheit der Schwere dieser Orte schließen können. Aber dieser Schluß würde äußerst unsicher, ja ganz unzuverlässig sein. Denn es handelt sich hier, wie die vorhergehende Tafel zeigt, um die Bestimmung einer ganz kleinen Größe von kaum 5 cm, die überdies aus einer noch viel kleineren Verschiedenheit der beiden Fallräume bestimmt werden soll. Der Schluß von dem Kleinen auf das Große ist nun hier wie überall sehr mißlich, besonders in unserem Falle, da noch die Unbiegsamkeit des Fadens und die Reibung desselben an der Rolle, sowie die der Rolle an ihrer Achse, anderer Schwierigkeiten nicht zu gedenken, unübersteigliche Hindernisse darbieten würden.

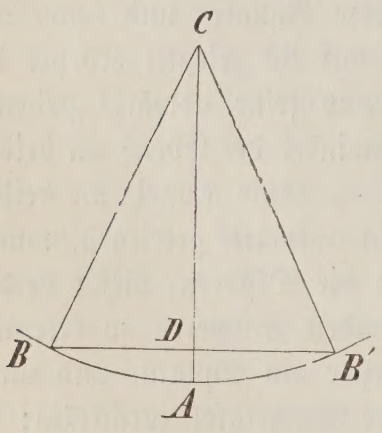
Ebenso könnte man eine schiefe Ebene unter dem Äquator und unter den Polen so lange gegen den Horizont neigen, bis ein auf sie gelegter Körper die durch seinen Druck entstehende Reibung überwindet und seine abwärts gehende Bewegung beginnt, wo man dann aus dem Neigungswinkel der Ebene an beiden Orten die ihnen entsprechende Schwere finden würde. — Eine Kugel, an beiden Orten mit derselben Kraft, z. B. des Pulvers, senkrecht aufwärts getrieben, würde am Äquator höher steigen als unter dem Pole, und die Differenz dieser beiden Höhen würde die Differenz der auf die Kugel wirkenden Schweren zu erkennen geben; — die Tiefe des Eindrucks, den derselbe Körper am Äquator und unter dem Pole auf einer weichen Unterlage, z. B. auf einer Wachstafel zurückläßt; — ein senkrechter Faden oder ein Metalldraht an beiden Orten mit den zum Zerreißen desselben notwendigen Gewichten beschwert; — oder ein horizontal ausgespannter, in seiner Mitte freier Faden, der unter dem Pole tiefer zu dem Horizonte herabsteigen oder eine ganz andere Kettenlinie beschreiben würde als unter dem Äquator; — alle diese und noch manche andere Mittel sind theoretisch richtig und doch in der Ausführung unbrauchbar, da die Beobachtungsfehler, welche man dabei nicht vermeiden kann, in den daraus abzuleitenden Resultaten Irrtümer erzeugen werden, welche die durch sie zu bestimmende Größe selbst oft weit übersteigen können.

§ 16. (Messung der Schwere durch das Pendel.) Aus dieser Verlegenheit hilft uns ein ganz unscheinbares Instrument, das Pendel, welches aber auf eine zweckmäßige Art an unsere Uhren angebracht, unserer ganzen praktischen Astronomie eine neue, bessere Gestalt gegeben, und uns die Größe des Raumes, durch welche frei fallende Körper in der ersten Sekunde gehen, mit einer Genauigkeit kennen gelehrt hat, die wir durch kein anderes Mittel hätten erreichen können.

Das Pendel wird in seiner einfachsten Gestalt durch einen an seinem oberen

Ende C befestigten Faden (Fig. 7) repräsentiert, der an seinem unteren Ende einen schweren Körper, z. B. eine kleine Bleikugel trägt. Ein solches Pendel wird, wenn man es sich selbst überläßt, wegen der Wirkung der Schwere eine vertikale Lage CA annehmen. Wenn man aber den immer gespannten Faden samt seinem Gewichte aus der vertikalen Lage CA in eine andere CB bringt und es dann wieder sich selbst überläßt, so wird es durch die Wirkung der Schwere, in die erste Lage zurückzukehren suchen, indem es den Kreisbogen BA um den Mittelpunkt C beschreibt. Wenn aber das Gewicht wieder seinen tiefsten Punkt A erreicht, so hat es bei seinem Fall durch den Bogen BA eine gewisse Geschwindigkeit nach der entgegengesetzten Richtung AB′ erhalten, welche das Gewicht, wenn es in A angekommen ist, auf der anderen Seite der vertikalen Linie CA wieder aufwärts treibt, und zwar ebenso hoch, als es früher in B war, so daß die beiden Kreisbogen AB und AB′ einander gleich sind. Durch dieses Aufwärtssteigen in den Bogen AB′ hat es in dem höchsten Punkte B′ seine Geschwindigkeit wieder gänzlich verloren und sinkt daher wegen der Anziehung der Erde abermals durch den Bogen B′A, um, wenn es in A mit der früheren Geschwindigkeit ankommt, wieder in den Bogen AB aufwärts zu steigen. Auf diese Weise setzt das Gewicht seine Schwingungen oder seinen Hin- und Hergang durch den Bogen BB′ immer in denselben Zwischenzeiten so lange fort, bis endlich die Reibung des Fadens an seinem Aufhängungspunkte C und der Widerstand der Luft, in welcher sich das Gewicht bewegt, dasselbe in seinem tiefsten Punkte A zur Ruhe bringen. Nimmt man statt des Fadens eine Stahlstange AC mit einer Öffnung bei C, deren oberster Teil auf einer horizontalen Messerschneide oder auf der scharfen Kante eines Prisma von hartem Steine oscilliert, so können diese Schwingungen des Pendels mehrere Stunden dauern, in welchem zwar der Bogen BB′ immer kleiner wird, aber die Zeit des Hin- und Herganges des Gewichts — und diese ist es, auf die hier alles ankommt, immer dieselbe bleibt.

Fig. 7.



Die Zeit eines Schwunges des Pendels durch den Bogen BB′ wird desto größer, je größer die Länge des Fadens ist; ebenso ist es für sich klar, daß bei derselben Fadenlänge die Zeit des Schwunges desto größer sein oder daß das Pendel desto langsamer gehen wird, je kleiner die Kraft ist, welche diese Bewegung des Pendels hervorbringt, d. h. je kleiner die Schwere der Erde ist.

Am einfachsten wäre es, die Länge des Fadens so lange zu ändern oder, was dasselbe ist, ein Gewicht an der erwähnten Metallstange so lange auf- und abwärts zu bewegen, bis das Pendel jede seiner Oscillationen durch den Bogen BB′ genau in einer Zeitsekunde zurücklegt, wo es dann ein Sekundenpendel

genannt wird. Man hat gefunden, daß die Länge eines solchen Pendels unter dem Äquator 990·96 mm, unter den Polen aber 996·15 mm beträgt. Dieser Unterschied von nur 5·19 mm ist allerdings sehr klein; aber man kann ihn durch die Art, auf welche diese Pendel beobachtet werden, mit der größten Genauigkeit bestimmen und daher auch die daraus folgenden Resultate mit großer Sicherheit ableiten.

Man kann nämlich irgend ein gegebenes und in seiner Länge unveränderliches Pendel an zwei verschiedenen Orten der Erde schwingen lassen und mittels einer neben demselben aufgestellten Uhr die Anzahl der Schwingungen zählen, welche das Pendel an den beiden Orten in derselben Zeit, z. B. in einem ganzen Tage vollendet. Eine solche Beobachtung, die ebenso leicht als sicher zu machen ist, reicht schon hin, das Verhältnis der Längen der Sekundenpendel sowohl als auch das der Schwere an jenen beiden Orten der Erde mit der größten Schärfe zu bestimmen, da dieses Verhältnis dasselbe ist, wie das der Quadrate der Anzahl jener Schwingungen. Hätte man z. B. bemerkt, daß ein Pendel von irgend einer gegebenen Gestalt und Länge unter dem Äquator in einem vollen Tage 86 400, unter der Breite von London aber 86 535 Schwingungen macht, so verhalten sich die Quadrate dieser Zeilen wie 1 zu 1·0031, und ebenso verhalten sich auch an diesen beiden Orten die Längen der Sekundenpendel, so wie auch die Intensität der Schwere der Erde, d. h. eine Masse, die unter dem Äquator 10 000 kg wiegt oder vielmehr, die mit einem Gewichte von 10 000 kg auf ihre Unterlage drückt, wird in der Breite von London einen um 31 kg stärkeren Druck ausüben als an jenem früheren Orte.

Bis vor kurzem war an etwa 100 auf der ganzen Erde zerstreuten Punkten die Länge des Sekundenpendels bestimmt worden; einen Teil der wichtigeren dieser Bestimmungen enthält die folgende Tafel.

Station	Breite	Länge des Sekundenpendels in Meter
Molukkische Inseln . .	51° 32′ südl.	0·994129
Port Jackson	33 52 —	0·992588
Insel Navak	0 2 —	0·990958
Jamaika	17 56 nördl.	0·991474
Newyork	40 43 —	0·993169
Wien	48 14 —	0·993871
Paris	48 50 —	0·993860
London	51 31 —	0·994129
Unst	60 45 —	0·994939
Hammerfest	70 40 —	0·995541
Spitzbergen	79 50 —	0·996046

In der letzten Zeit haben aber diese Bestimmungen durch die Bemühungen von R. v. Sterneck einen großen Aufschwung erfahren, der in Österreich allein mehrere Hundert derselben mit einem von ihm selbst konstruierten, hierfür be-

sonders geeigneten Apparate ausgeführt hat, welcher seither auch bereits in verschiedenen anderen Ländern vielfach verwendet wurde.

§ 17. (Weitere Beweise für die Rotation der Erde aus Pendelbeobachtungen. A. Aus dem Gange der Uhren.) Im Jahre 1672 machte der französische Astronom Richer im Auftrage der Pariser Akademie eine astronomische Reise nach der Insel Cayenne, die nur 5° nördlich vom Äquator entfernt ist. Als er hier seine Pendeluhr, die in Paris genau reguliert war, wieder aufstellte, fand er, daß sie täglich nahe um $2^1/_2{}^m$ zu spät ging, so daß er das Pendel um etwa $2^1/_2$ mm verkürzen mußte, um den Gang seiner Uhr auch in Cayenne mit der richtigen Zeit übereinstimmend zu machen. Er konnte dieses sonderbare Ereignis um so weniger einer Störung der Uhr während seiner Reise zuschreiben, da das so verkürzte Pendel, als er es nach Paris zurückbrachte, wieder um dieselbe Größe verlängert werden mußte, indem die Uhr bei seiner Ankunft in Paris täglich um $2^m\,28^s$ gegen die richtige Zeit zu schnell ging.

Newton stand nicht an, diese von dem scharfsinnigen Hooke schon 9 Jahre früher vermutete Erscheinung für den so lange gesuchten experimentellen Beweis der Rotation der Erde zu erklären. Dem Obigen (§ 16) zufolge schwingt nämlich ein Pendel desto langsamer, je geringer die Intensität der Schwere ist. Deshalb mußte Richers Pendel in Cayenne, in der Nähe des Äquators, wo die Schwere am kleinsten ist, zu langsam gehen, und er war daher gezwungen, es zu verkürzen, um ihm wieder denselben Gang zu geben, den es in Paris, unter einer größeren Schwere, hatte. Als er es nun nach Paris zurückbrachte, mußte er es selbstverständlich wieder um denselben Betrag verlängern, genau so wie es die Erfahrung ergeben hatte.

Man sieht daraus, daß diese Beobachtung die Voraussetzung der Rotation der Erde um ihre Achse vollständig bestätigt, und somit einen schönen Beweis für dieselbe abgiebt.

(B. Foucaults Pendelversuch.) Die im Vorhergehenden vorgetragenen Beweise für die Rotation der Erde sind alle von der Art, daß nicht jeder die dazu nötigen Beobachtungen und Versuche selbst anstellen und sich so von der Richtigkeit der oben mitgeteilten Resultate durch eigene Anschauung überzeugen kann. Das letztere ist aber der Fall mit dem Beweise, den 1851 Léon Foucault in Paris durch einen sehr sinnreichen und dabei höchst einfachen Versuch gegeben hat, mit dem wir deshalb unsere Leser näher bekannt machen wollen. Setzen wir voraus, daß ein Beobachter sich genau im Pole der Erde befindet und dort ein Pendel in seiner einfachsten Gestalt, d. h. eine homogene sphärische Masse an einem biegsamen Faden aufstellt; setzen wir ferner voraus, der Aufhängepunkt des Pendels liege genau auf der Verlängerung der Erdachse, und die festen Teile, die das Pendel tragen, nähmen an der täglichen Bewegung der Erde keinen Anteil. Bringt man unter diesen Verhältnissen das Pendel aus der Position des Gleichgewichtes und überläßt es dann sich selbst, ohne ihm irgend eine Seiten-

bewegung zu erteilen, so beschreibt es einen Kreisbogen, dessen Mittelpunkt der Aufhängepunkt des Pendels und dessen Ebene vertikal ist. Man pflegt diese Ebene die Schwingungsebene des Pendels zu nennen: sie behält eine unveränderliche Lage im Raume bei, so lange das Pendel schwingt, weil kein Grund vorhanden ist, warum sie eher nach der einen Seite hin als nach der andern eine Drehung erfahren sollte. Wenn nun aber die Erde, über welcher das Pendel aufgehängt ist, in 24 Stunden sich von West nach Ost um ihre Achse dreht, so muß es dem Beobachter am Pole, der sich mit der Erde zugleich dreht, die Erde aber als ruhend annimmt, scheinen, als ob die Schwingungsebene des Pendels in 24 Stunden eine Drehung um die Ruhelage desselben oder um die Erdachse gemacht hätte, aber im entgegengesetzten Sinne, also von Ost nach West.

Begeben wir uns nun mit dem Pendel an den Äquator, und hängen wir es ebenso wie früher über demselben auf, so liegt der Faden jetzt bei der Ruhelage in der Ebene des Äquators, weil er in dieser nach dem Centrum der Erde zielt. Versetzen wir daher das Pendel wieder in Schwingungen, und zwar der Einfachheit halber in der Ebene des Äquators selbst, so ist leicht ersichtlich, daß es beständig in derselben fortschwingen wird, auch wenn sich der Äquator unter ihm weiterdreht. Am Äquator wird deshalb die Schwingungsebene gar keine Drehung auszuführen scheinen.

Aus diesen beiden Grenzfällen kann man leicht entnehmen, was eintreten wird, wenn man ein Pendel irgendwo zwischen Äquator und Pol schwingen läßt. Die Schwingungsebene wird dort, weder wie am Äquator gar keine, noch auch wie am Pole im Laufe eines Tages eine volle Drehung von 360° von Ost nach West auszuführen, sondern sich während eines Tages nur um einen größeren oder geringeren Bruchteil von 360° zu drehen scheinen.

Der Grund, warum das Phänomen am Pole und am Äquator sich mit solcher Einfachheit darstellt, liegt darin, daß an ersterem die Rotationsachse der Erde mit der Zenithlinie, d. i. der Vertikalen des Beobachtungsortes oder der Ruhelage des Pendels zusammenfällt, an letzterem aber senkrecht auf derselben steht. In den dazwischenliegenden Orten bildet hingegen die Vertikale des Beobachtungsortes mit der Erdachse einen um so größeren Winkel, je weiter man sich vom Pole entfernt, und es erfolgt für einen solchen Ort die Rotation der Erde nicht mehr um diese Vertikale, sondern diese nimmt selbst Anteil an der Bewegung und beschreibt während jeder Umdrehung der Erde die Oberfläche eines Kegels, dessen Spitze im Mittelpunkte der Erde sich befindet, und der eine desto größere Öffnung hat, je näher der Beobachtungsort am Äquator liegt. Infolgedessen führt auch die Vertikale, gegen eine unbewegliche Ebene im Raume, an einem Tage keine volle Drehung um 360° aus, sondern nur um einen Bruchteil dieser Größe, der mit der Annäherung an den Äquator sich immer mehr verkleinert, und der Theorie zufolge durch den Ausdruck: $360^\circ \sin\varphi$ wiedergegeben wird, wo φ die geographische Breite oder Polhöhe des Beobachtungsortes bezeichnet.

Ehe wir weiter gehen, müssen wir noch eine Bemerkung an die Voraussetzung, die wir bisher gemacht haben, knüpfen, daß der Aufhängepunkt des Pendels an der täglichen Bewegung der Erde oder wenigstens an der Rotation um die Vertikale des Beobachtungsortes keinen Anteil nehme. Bei einem wirklich vorzunehmenden Versuche ist man nicht im Stande, diese Bedingung zu erfüllen. Das Pendel wird immer auf einem beweglichen Boden aufgestellt sein, und die festen Teile, an denen das obere Ende des Pendelfadens befestigt ist, können der täglichen Bewegung der Erde gleichfalls nicht entzogen werden; man könnte also beim ersten Anblicke befürchten, diese Bewegung, dem Faden und der Pendelmasse mitgeteilt, werde die Lage der Schwingungsebene ändern und so das Phänomen nicht in seiner Reinheit beobachten lassen. Indessen zeigt die Erfahrung, daß, wenn nur der Faden rund und homogen ist, man ihn beliebig rasch und um sich selbst drehen lassen kann, ohne dadurch einen merklichen Einfluß auf die Lage der Schwingungsebene auszuüben, so daß das Experiment an jedem beliebigen Beobachtungsorte gelingen muß. Sonach ist durch dasselbe ein sehr einfacher und augenfälliger Beweis für die Umdrehung der Erde um ihre Achse hergestellt, der noch dazu den Vorzug hat, daß jeder sich von der Richtigkeit desselben sehr leicht zu überzeugen imstande ist; denn eine Metallkugel, an einem langen und biegsamen Faden aufgehängt, reicht schon hin, um die Erscheinung wenigstens in ihren Hauptmomenten deutlich zu zeigen.

Als Foucaults Pendelexperiment bekannt wurde, wurde es allenthalben wiederholt. Man geht dabei am besten so vor, daß man in dem höchsten Punkte eines Gewölbes ein starkes Metallstück anbringt, welches als Aufhängepunkt für den Pendelfaden dient. Dieser wird durch eine kleine Platte von gehärtetem Stahl gezogen, deren freie Oberfläche genau horizontal ist. Der Pendelfaden selbst ist von Eisendraht, sein Durchmesser im Mittel 0·8 mm, und seine Länge so groß, als die Höhe des zur Verfügung stehenden Raumes zuläßt. Am unteren Ende trägt er eine Kugel von mehreren Kilogramm Gewicht, nach unten mit einer Spitze versehen, die gewissermassen die Verlängerung des Pendelfadens bildet.

Vor dem Beginne des Experimentes muß man vorerst eine etwaige Torsion des Fadens, sowie die drehenden Oscillationen der Kugel wegschaffen, weil sonst die Schwingungen des Pendels nach und nach eine elliptische Gestalt annehmen.

Um das Pendel aus der Gleichgewichtslage zu bringen, umfaßt man die Kugel mit einer Schlinge aus Bindfaden, dessen anderes Ende an einem Punkte der Mauer in einer geringen Höhe über dem Boden befestigt ist. Giebt man dem Faden die gehörige Länge, so wird man die Amplitude der Schwingungen des Pendels nach Belieben abändern können. Bei Foucaults Experimenten umfaßten die Schwingungen in der Regel anfangs einen Bogen von 15^0 bis 20^0. Hat man nun mit Hilfe des Fadens und der Schlinge das Pendel aus der vertikalen Lage entfernt, und ist die Kugel zur Ruhe gekommen, so brennt man den Faden ab, wodurch die Schlinge zur Erde fällt und das Pendel sich in Bewegung

setzt. Nach einer halben Stunde beträgt die Drehung der Schwingungsebene in unseren Breiten schon $5^0\,39'$, so daß dieselbe bereits deutlich in die Augen fällt. Um sich zu überzeugen, ob diese Drehung wirklich mit Kontinuität vor sich geht, wie es sein soll, kann man sich eines vertikalen Stiftes bedienen, den man so aufstellt, daß die nach abwärts gerichtete Spitze an der Kugel des Pendels bei der größten Ausweichung desselben von der Gleichgewichtslage jenen Stift fast berührt. In weniger als einer Minute findet das genaue Zusammentreffen beider Spitzen nicht mehr statt; die Spitze an der Pendelkugel weicht auf der dem Beobachter zugekehrten Seite der Schwingung immer mehr gegen die Linke des Beobachters ab, was darauf hindeutet, daß die Drehung der Schwingungsebene im Sinne von Süd gen West u. s. w. erfolgt, wie es auch sein soll. Die mittlere Größe jener Drehung, mit Rücksicht auf die Zeit, zeigt übereinstimmend mit der Theorie, daß die Schwingungsebene unter der geographischen Breite von Paris in 24 Stunden einen Winkel von 271^0 zurücklegt.

Foucault hat das Experiment unter anderem auch im Saale des Pariser Observatoriums mit einem Pendel von 11 m Länge ausgeführt, wo sich schon nach zwei Schwingungen eine Ablenkung der Schwingungsebene erkennen ließ. Schließlich sei noch erwähnt, daß man schon im Jahre 1661 in Florenz bei Gelegenheit von Pendelversuchen die hier besprochene Ablenkung der Schwingungsebene beobachtet hat, ohne jedoch eine Erklärung davon zu geben. Im Jahre 1782 äußerte Poinsinet de Sivry, daß man das Pendel zur Bezeichnung einer bestimmten Vertikalebene statt der Magnetnadel benutzen könnte, aber ebenfalls, ohne mit diesem Gedanken weitere Aufmerksamkeit zu erregen.

Wie übrigens die Unveränderlichkeit der Ebene, in welcher das Pendel schwingt, uns hier in den Stand setzte, die Bewegung der Erde um ihre Achse zu erkennen, so kann man ihrer Lage nach beständige Ebenen auch durch sehr schnell rotierende Kreise, sogenannte Gyroskope erzeugen, und dann an ihnen ähnliche Wahrnehmungen machen.

§ 18. (Folgen der Rotation der Erde; Datumsprung.) Infolge der Rotation der Erde um ihre Achse scheint die Sonne dieselbe täglich in der Richtung von Ost nach West zu umkreisen, erreicht daher den Meridian eines von einem bestimmten Punkte östlich gelegenen Ortes früher, den eines westlich gelegenen später. Dies bedingt, daß ein Tag nicht gleichzeitig auf der ganzen Erde anfängt, wenn man ihn an jedem Orte mit Mitternacht beginnen läßt, sondern daß er beim Fortschreiten nach Osten immer früher, beim Fortschreiten nach Westen immer später eintritt. So geringfügig und unmerkbar dies nun auch wegen der Größe der Erde bei geringen Ortsveränderungen ist, so einflußreich und bedeutsam wird es bei weiteren Reisen und führt namentlich bei Reisen um die Welt zu Konsequenzen, die für den ersten Augenblick ganz unglaublich erscheinen.

Geht man nämlich beständig in östlicher Richtung weiter, so wird die Verfrühung des Tages bei jeder Fortbewegung um 15 Längengrade eine Stunde be-

tragen, weil die Erde sich in einem Tage gleichförmig um den ganzen Umkreis, d. i. 360° dreht. Will man nun seine Uhr beständig mit der Ortszeit in Übereinstimmung halten, wird man nach je 15 zurückgelegten Längengraden die Zeiger um eine Stunde vorrücken müssen, sie also nach Vollendung einer Reise um die Welt um 24 Stunden oder einen vollen Tag vorgerückt haben. Daraus ersieht man weiter, daß unser Reisender bei seiner Reise um die Welt die Sonne einmal öfter auf- und untergehen sah, als die Bewohner seiner Heimat, oder daß er nach unseren Begriffen, so paradox es auch klingen mag, um einen Tag mehr gelebt hat als diese. Hätte er aber umgekehrt die Reise um die Welt in westlicher Richtung zurückgelegt, so hätte er seine Uhr allmählich um einen vollen Tag zurückgestellt, also einen Tag weniger gelebt.

Diese Verhältnisse kamen dem Menschengeschlechte erst bei der ersten glücklich vollendeten Weltumsegelung, und zwar in ziemlich drastischer Weise zum Bewußtsein. Als nämlich die Begleiter von Magellan unter d'Elcanos Führung von ihrer Reise um die Welt, bei welcher sie in westlicher Richtung gesegelt waren, zurückkehrten, fehlte ihnen zu ihrer nicht geringen Bestürzung ein voller Tag, wofür man ihnen trotz ihrer energischen Proteste eine beispiellos nachlässige Führung der Schiffsrechnung zur Last legte, weil man sich diese Erscheinung auf keine andere Art zu erklären wußte. Da aber die Thatsache des Verlustes eines Tages unleugbar feststand, und sie infolgedessen die hohen Kirchenfeste und Fasttage zu falschen Zeiten gefeiert, daher an diesen die gebotenen Fasten nicht eingehalten, an jenen gearbeitet hatten, fühlten sie sich den damaligen streng formellen Auffassungen in Sachen der Kultusvorschriften entsprechend derart in ihrem Gewissen beunruhigt, daß sie auf den Rat aufrichtiger Freunde in der Domkirche zu Sevilla öffentlich Kirchenbuße thaten!

Eine weitere Folgerung des oben Gesagten ist die folgende. Wenn zwei Reisende gleichzeitig von irgend einem Orte ausgehen, der eine aber beständig nach Osten, der andere nach Westen fortschreitet, so wird, wenn sie sich begegnen, der erste dem zweiten um einen Tag voraus sein, beispielsweise der erste Sonntag zählen, wenn der zweite erst Samstag schreibt. Auch diese ebenso paradox scheinende Thatsache hat sich nicht nur wiederholt ereignet, sondern sogar perpetuiert. So wurden die Philippinen von den Spaniern durch Segeln nach westlicher Richtung erreicht, und auf Grund der Teilung der Erde durch die Päpste Alexander VI. und Julius II. diesen zugesprochen. Die benachbarten Molukken hingegen wurden von den Portugiesen durch Fahrten nach Osten entdeckt, weshalb diese beiden benachbarten Inselgruppen durch mehr als 300 Jahre verschiedene Tage schrieben. Diese Anomalie wurde nämlich nach den Forschungen des Fregatten-Kapitäns J. Freiherr v. Benko erst am Ende des Jahres 1844 durch ein Dekret des damaligen General-Gouverneurs der Philippinen Narciso Claveria beseitigt, welches verordnete, daß auf Montag den 30. Dezember 1844 unmittelbar Mittwoch der 1. Jänner 1845 zu folgen habe, um das Datum der Philippinen

mit jenem in Europa, China und den Ländern östlich des Kap der guten Hoffnung in Einklang zu bringen.

In ähnlicher Weise wurde die Halbinsel Aliaska von Rußland aus, also aus östlicher Richtung kultiviert; Amerika hingegen bekanntlich aus westlicher, weshalb die Bewohner Aliaskas den übrigen Bewohnern Amerikas in ihrer Zeitrechnung um einen Tag voraus waren. Als nun im Jahre 1871 die Vereinigten Staaten in den Besitz dieses Gebietes kamen, wurde verordnet einen Sonntag zweimal zu feiern, um die störende Doppelzählung der Tage wegzuschaffen. Es bildet daher heutzutage die Behringstraße die Tagesgrenze, oder die des Datumssprunges zwischen alter und neuer Welt.

Kapitel III.

Jährliche Bewegung der Erde.

§ 19. (Erscheinungen, an denen die Bewegung der Sonne erkannt wird.) Wir haben im Vorhergehenden gesehen, daß der ganze Himmel mit allen seinen Gestirnen sich täglich von Ost gen West zu drehen scheint, und daß die wahre Ursache dieser Erscheinung in der Erde liegt, die sich in derselben Zeit, aber in entgegengesetzter Richtung von West gen Ost um ihre Achse dreht, während der sie rings umgebende Himmel mit seinen Sternen in Ruhe bleibt. Allein wenn wir diese Gestirne einzeln näher betrachten, so finden wir bald, daß einige derselben eine merkwürdige Ausnahme von dieser allgemeinen Ruhe des Himmels machen. Bei weitem die meisten Sterne kommen nämlich am Ende eines jeden Tages immer wieder genau an denselben Ort, wo wir sie am Ende der vorhergehenden Tage gesehen haben. Auch behalten sie unter sich selbst immer dieselbe Lage unverändert bei, so daß z. B. solche Sterne, welche eine gerade Linie, ein Dreieck, einen Kreis unter sich bilden, diese Gestalt ihrer Gruppierung am Himmel nicht weiter ändern. Aber unter diesen in der That zahllosen Sternen, die ihren Ort am Himmel gleichsam fixiert haben, und die man daher Fixsterne nennt, giebt es doch auch einige, welchen diese Benennung nicht zukommt, da man sie ihre Stelle am Himmel ändern und mit verschiedenen Geschwindigkeiten und nach verschiedenen Richtungen von einem Fixsterne zum andern wandern sieht. Man hat sie daher Wandelsterne oder Planeten (*πλάνη*, das Herumirren) genannt. Ein solches Gestirn ist z. B. der Mond. Wenn man ihn durch mehrere aufeinanderfolgende Nächte nur mit einiger Aufmerksamkeit betrachtet, so findet man, daß er unter den fixen Gestirnen des Himmels von West gen Ost mit einer gewissen, sehr auffallenden Regelmäßigkeit fortgeht, daß die Sterne, bei welchen wir ihn

z. B. gestern um Mitternacht sahen, heute um dieselbe Zeit schon nahe 13° westlich von ihm stehen, und daß er überhaupt seinen östlichen Umlauf an dem gestirnten Himmel in nahe $27^1/_4$ Tagen vollendet. Ähnliche, nur bei weitem weniger regelmäßige Bewegungen bemerken wir noch an einigen anderen Himmelskörpern, die wir später näher kennen lernen werden. Ja, selbst die Sonne scheint zu diesen Wandelsternen zu gehören und ihren Ort unter den Sternen des Himmels mit jedem Tage zu ändern.

Es mag allerdings schon etwas mehr Aufmerksamkeit und Überlegung erfordert haben, dies zu erkennen, weil die Sonne die ganze Umgegend so mit ihrem Lichte erfüllt, daß dadurch die Sterne, diese festen Punkte des Himmels, mit welchen man ihren täglichen Stand vergleichen könnte, ganz unsichtbar werden. Allein, wenn auch diese Sterne, welche wir an unserem nächtlichen Himmel erblicken, unter sich selbst immer dieselbe Lage behalten, so sieht man doch nicht zu allen Zeiten dieselben Sterne. So sehen wir z. B. das bekannte Sternbild Orion in der Mitte des Dezembers um Mitternacht am höchsten über dem Horizonte oder im Meridian (Einl., § 7); aber 14 Tage darauf oder im Anfange eines jeden neuen Jahres erblicken wir es schon viel früher in demselben, nämlich gegen 11^h abends, am 1. Februar noch früher, gegen 9^h, am 1. März schon um 7^h u. s. w., so daß also dieses Sternbild am Ende eines jeden Monats zur Zeit der Mitternacht etwa 30° weiter gegen Westen steht, als es am Anfange dieses Monats stand. In der Mitte des März ist es schon soweit gegen Westen vorgerückt, daß die Mitte desselben, der sogenannte Jakobsstab zur Zeit der Mitternacht bereits untergeht. Nicht minder bekannt als Orion ist der schöne Stern Aldebaran, der größte der Hyaden im Sternbilde des Stiers. Um die Mitte des Mai sieht man ihn noch bald nach Sonnenuntergang auf der Westseite in der Nähe der Sonne, nach welcher er etwa in einer Stunde ebenfalls untergeht. Gegen das Ende dieses Monats sieht man ihn schon nicht mehr; erst gegen das Ende des Juni erblickt man ihn wieder, jetzt aber auf der Ostseite einige Augenblicke kurz vor dem Aufgange der Sonne, und nun sieht man ihn mit jedem folgenden Tage immer früher vor der Sonne aufgehen, so daß er immer länger in den letzten Stunden der Nacht sichtbar bleibt, bevor er mit dem Anbruche des hellen Tages verschwindet. Die Alten waren auf dieses Verschwinden der Sterne oder auf die Zeit, da ein Stern mit der Sonne zugleich auf- und untergeht, sehr aufmerksam, und nannten dieselbe den kosmischen Auf- und Untergang, so wie sie die Zeit, da der Stern kurz vor dem Aufgange der Sonne auf- und kurz nach dem Untergange derselben untergeht, den heliakischen Auf- und Untergang des Sterns hießen. Aus der Wiederkehr dieser Phänomene, also aus dem Ein- und Austritte gewisser Sterne in und aus den Sonnenstrahlen, schloß man ganz recht, daß auch die Sonne wieder an derselben Stelle des Himmels sei, daß sie also in der Zwischenzeit ihren ganzen Umlauf um die Erde zurückgelegt habe. Man nennt diese Zeit eines Umlaufs der Sonne bekanntlich das Jahr, und die Alten wurden, eben durch

diese Art von Beobachtungen, bald gewahr, daß die Länge oder die Dauer eines Jahres nahe $365^1/_4$ Tage betrage.

Am deutlichsten bemerkt man das Fortrücken der Sonne an jenen Sternen, die zu verschiedenen Jahreszeiten um Mitternacht durch den Meridian (Einl., § 7) des Beobachters gehen. Im Anfange des Frühlings sind dies die Sternbilder des Löwen und der Jungfrau; in den ersten Sommernächten, in der Mitte des Juni, das Sternbild des Herkules und die zwei schönen Sterne Wega in der Leier und Atair im Adler; im Anfange des Herbstes Pegasus, die Kassiopeia und Andromeda, im Anfange des Winters endlich oder gegen das Ende des Jahres der Stier mit den oben erwähnten Hyaden und den Pleiaden, ferner Sirius, der größte aller Fixsterne, und Orion, das schönste aller Sternbilder. Da nun alle diese in den verschiedenen Jahreszeiten um Mitternacht kulminierenden, also in diesen Jahreszeiten der Sonne gegenüberstehenden Sterngruppen in der oben angeführten Ordnung von West gen Ost um den Himmel liegen, so muß auch die Sonne selbst in ihrer jährlichen Bewegung sich in derselben Richtung oder ebenfalls von West gen Ost bewegen.

Übrigens lassen sich diese Erscheinungen ebenso gut durch eine gemeinschaftliche Bewegung des gesamten Himmels mit allen seinen zahllosen Fixsternen gegen West erklären. Wenn wir aber nicht wieder, wie in dem vorhergehenden Kapitel bei der Rotation der Erde, in den Widerspruch fallen wollen, die ganze Welt um einen einzigen Punkt zu bewegen, bloß weil wir diesen Punkt, ohne allen weiteren Grund, für unbeweglich gelten lassen wollen, so werden wir sofort für die erste dieser Erklärungen, für eine Bewegung der Sonne gegen Ost stimmen müssen, um so mehr, als der Mond und alle übrigen oben erwähnten Planeten ebenfalls, aber mit ganz andern Geschwindigkeiten und nach ganz andern Richtungen ihren Ort unter den Sternen des Himmels ändern.

Wir sind also, unseren Beobachtungen und den daraus gezogenen Schlüssen gemäß, gleichsam gezwungen, anzunehmen, daß die Sonne eine eigene Bewegung von West gegen Ost habe, und daß sie ihren Weg um die Erde in einem Jahre vollende, oder daß sie auf demselben täglich etwas weniger als einen Grad (genauer $0{\cdot}986^0$) gen Ost weiter rücke.

§ 20. (Die Sonnenbahn ist gegen den Äquator geneigt.) Wenn diese Bahn der Äquator selbst oder doch ihm parallel wäre, so müßte die Sonne für jeden bestimmten Ort der Erde, z. B. für Wien, durch das ganze Jahr offenbar immer an demselben Punkte des Horizontes, etwa immer bei derselben Bergspitze auf- und untergehen, wie wir dies bei den Fixsternen in ihrer täglichen Bewegung bemerken. Beschriebe sie z. B. den Parallelkreis des Aldebaran am Himmel, so müßte sie auch alle Tage des Jahres an demjenigen Orte des Horizontes auf- und untergehen, an welchem wir diesen Fixstern und ebenso alle andern Punkte seines Parallelkreises auf- und untergehen sehen. Auch müßte dann ihre Sichtbarkeit über unserem Horizonte, d. h. die Länge des

Tages, während des ganzen Jahres immer gleich groß, nämlich dieselbe mit der Sichtbarkeit des Aldebaran selbst sein. — Allein dies widerspricht allen unsern Erfahrungen. Die Längen unserer Tage sind, wie wir alle wissen, sehr ungleich, da sie z. B. für Wien im Winter, wenn sie am kürzesten sind, nur $8^h\ 10^m$, und im Sommer, wenn sie am längsten sind, $16^h\ 6^m$ dauern. Auch geht, wie nicht weniger allgemein bekannt ist, die Sonne im Sommer viel näher bei Norden auf und unter als im Winter, wie sie denn auch in jener Jahreszeit im Mittag viel höher steht als in dieser. Die beiden äußersten Punkte des Horizontes, bei welchen die Sonne im Sommer und im Winter auf- und ebenso jene, bei welchen sie untergeht, bilden in unsern Gegenden den sehr beträchtlichen Winkel von 73^0, und dieser Winkel ist für nördlicher liegende Länder noch größer. — Eine nur geringe Aufmerksamkeit auf diese so auffallenden Unterschiede mußte daher auf die Idee leiten, daß die Sonne in ihrer Bewegung von West gen Ost auch zugleich von einem Parallelkreise zum andern übergeht, daß also ihre Bahn gegen den Äquator unter einem gewissen Winkel geneigt ist.

§ 21. (Bestimmung der Lage der Sonnenbahn gegen den Äquator.) Allein, wie groß ist dieser Winkel? oder mit anderen Worten: Welches ist die wahre Lage der Sonnenbahn am Himmel, und welches sind die Sterne, durch welche sie geht?

Diese Sterne können wir allerdings nicht sehen, solange die Sonne in ihrer Nähe sich aufhält, wohl aber und zwar am besten dann, wenn sie ihr gerade gegenüberstehen. Da man aber bereits weiß, daß die Sonne ihren Kreislauf um die Erde in der Zeit eines Jahres von $365^1/_4$ Tagen zurücklegt, so kann man daraus schließen, daß sie sich jedesmal nach einem halben Jahre in dem Punkte des Himmels befinden werde, der jenem gerade entgegengesetzt ist, in welchem sie sich heute befindet, mit anderen Worten, daß der Ort, den sie vor einem halben Jahre um Mittag einnahm, heute um Mitternacht an derselben Stelle steht. Hätte man also einmal z. B. an dem kürzesten Tage des Jahres die mittägige Höhe der Sonne gemessen, so müßte ein halbes Jahr nachher, in der Mitte der kürzesten Nacht, derjenige Punkt der Sonnenbahn, in welchem sie sich vor einem halben Jahre befand, wieder dieselbe Höhe im Meridiane einnehmen. Diesen Punkt der Sonnenbahn könnte man sich aber jetzt leicht merken, weil man an dieser Stelle Sterne sähe. Auf diese Weise könnte man an mehreren Tagen verfahren und so alle die Sterne des Himmels, durch welche die Sonne ihren Weg nimmt, und zugleich die Zeit bestimmen, wann sie zu diesen Sternen kommt.

Diese Beobachtungsart mag vielleicht die erste gewesen sein, die man befolgt hat, um die Bahn der Sonne am Himmel zu bestimmen. Allein sie ist weder sehr bequem noch auch genau zu nennen, da, wie wir später sehen werden, die Sonne in ihrer Bahn nicht gleichförmig, sondern bald geschwinder, bald langsamer fortgeht, so daß sie nach einem halben Jahre nicht genau in dem entgegengesetzten Punkte ihrer Bahn sich befindet. Übrigens kann man sich die lästige Wiederholung dieser Beobachtungen ersparen, da schon ein einziger Tag hinreicht, die

Lage der Ekliptik auf diese, obschon unzuverlässige Weise zu bestimmen, wenn man dazu, wie zuvor, den längsten oder auch den kürzesten Tag des Jahres nimmt. Gegen die Mitte des März und des Septembers ist bekanntlich für die ganze Erde die Länge des Tages ebenso groß als die der Nacht; es muß daher (Einl., § 4) an diesen beiden Tagen die Sonne im Äquator sein, also auch hier die Ekliptik den Äquator schneiden, weil dieser Kreis der einzige, für welchen der Tag- und Nacht-Bogen gleich ist. Da aber der Äquator den Horizont in 2 Punkten, die von Süd und Nord gleich weit entfernt sind oder in dem Ost- und Westpunkte (Einl., § 7) schneidet, so genügt es nur an einem jener beiden Tage der Nachtgleichen den Auf- und Untergang der Sonne zu beobachten, um sofort auch in seinem Horizonte diejenigen zwei Punkte aufzufinden, welche dem Ost- und Westpunkte entsprechen. Hat man aber einmal diese beiden Punkte, so darf man nur noch an demselben Tage, um Mittag die Sonne etwa nach dem Augenmaße mit jenen zwei Punkten verbinden, um sofort die Lage des Äquators am Himmel gleichsam mit einem Blicke zu übersehen. Genauer wird man diese Lage erhalten, wenn man eine Ebene, z. B. eine Tafel durch jene beiden Punkte, den Ost- und Westpunkt des Horizontes, legt und dann diese Tafel um die durch jene zwei Punkte gehende Linie, als um eine Achse, solange dreht, bis das in dieser Tafel stehende Auge des Beobachters die Sonne in der Ebene der Tafel sieht.

Ganz auf dieselbe Weise wird man nun auch mit der Ekliptik verfahren, nur wird man dazu nicht die Tage der Nachtgleichen, sondern die der Solstitien d. h. den längsten oder auch den kürzesten Tag des Jahres wählen. Wir haben bereits gesehen, daß die Sonne an den 2 Tagen der Nachtgleichen in der Ebene des Äquators ist, wo sie dem Horizont in zwei einander gegenüberstehenden Punkten, in Ost und West, begegnet. Die beiden Punkte des Äquators, welche sie an diesen zwei Tagen einnimmt, müssen also auch zwei Punkte der Sonnenbahn sein, und da diese 2 Punkte einander genau entgegengesetzt sind, so wird diese Sonnenbahn den Äquator in zwei gleiche Teile teilen und demnach (Einl., § 2) selbst ein größter Kreis des Himmels sein. Man nennt diese beiden der Ekliptik und dem Äquator gemeinschaftlichen Punkte die Äquinoktial- oder Nachtgleichenpunkte, und zwar den einen, wo die Sonne im Anfange des Frühlings, um den 21. März, ist, den Frühlingspunkt, und den andern, welchen sie im Anfange des Herbstes, um den 22. September, einnimmt, den Herbstpunkt. (Einl., § 10). — Zur Zeit der Solstitien aber, ein Vierteljahr vor und nach der Zeit der Nachtgleichen, ist die Sonne in der Mitte zwischen dem Frühlings- und Herbstpunkte oder von jedem dieser Punkte um 90^0 entfernt, Man darf daher nur am Mittage eines dieser beiden Tage, deren einer der längste und der andere der kürzeste des Jahres ist, die Sonne im Meridian beobachten, um sofort 3 Punkte zu übersehen, die alle in der Ebene der Ekliptik liegen, nämlich den Mittelpunkt der Sonne im Süden und die beiden bereits bekannten Punkte Ost und West des Horizontes, mit denen am Mittag dieser beiden Tage die beiden Nacht-

gleichenpunkte zusammenfallen, wo dann wieder eine durch diese 3 Punkte gelegte Ebene, wenn man sie bis an den Himmel verlängert, an demselben den gesuchten größten Kreis der Sonnenbahn oder der Ekliptik anzeigen wird. Man nennt die beiden Punkte der Ekliptik, die von dem Äquator am weitesten abstehen, die Solstitial- oder Wendepunkte, und zwar den höchsten, den die Sonne gegen den 21. Junius einnimmt, die Sommerwende, und den tiefsten, wo sie am 22. Dezember steht, die Winterwende.

Aus der beobachteten mittägigen Höhe der Sonne, etwa mit Hilfe eines einfachen, Quadrant genannten Instrumentes (Einl., § 19) läßt sich aber auch auf eine einfache Weise die Neigung der Ekliptik gegen den Äquator ermitteln. Wir haben nämlich bereits (Einl., § 22) auseinandergesetzt, wie man bei bekannter Äquatorhöhe aus der Meridianhöhe eines Gestirnes dessen Deklination ableiten kann. Mißt man daher zur Zeit eines Solstitiums, etwa des Sommersolstitiums, wo die Sonne am weitesten nördlich vom Äquator entfernt ist, deren mittägige Höhe, so findet man daraus sofort ihre größte nördliche Deklination. Zur Zeit der Solstitien steht aber die Sonne 90^0 von den beiden Äquinoktien ab: es ist daher der Bogen des Meridianes, der zwischen der Ekliptik und dem Äquator enthalten ist, d. h. die Deklination der Sonne gleich der Neigung (Einl., § 3) jener beiden Ebenen, oder gleich der sogenannten Schiefe der Ekliptik, die durch den Winkel LVQ (Fig. 2 S. 11) der Ekliptik mit dem Äquator ausgedrückt wird. Man braucht daher nur im Augenblicke des Solstitiums die Höhe der Sonne im Meridiane zu beobachten, wo dann die Differenz dieser Höhe und der Äquatorhöhe (Einl., § 22) die gesuchte Schiefe der Ekliptik geben wird. So beobachtete man auf der Sternwarte in Wien die mittägige Höhe des Mittelpunktes der Sonne

am 19. Juni $65^0\ 12{\cdot}9'$
= 20. = $65^0\ 13{\cdot}3'$
= 21. = $65^0\ 13{\cdot}4'$
= 22. = $65^0\ 13{\cdot}0'$.

Die größte dieser Höhen ist die vom 21. Juni. Subtrahiert man davon die bekannte Äquatorhöhe Wiens $41^0\ 46{\cdot}1'$, so erhält man sofort die gesuchte Schiefe der Ekliptik gleich $23^0\ 27{\cdot}3'$.

Das Vorhergehende setzt allerdings voraus, daß die Zeit des Solstitiums mit der Zeit des Mittags genau zusammenfalle, während es doch auch in den Vor- und Nachmittagsstunden eintreten kann. Aber da die Änderungen der Deklination zur Zeit der Sonnenwende, wie man aus dem vorigen Beispiele sieht, sehr gering sind, so wird auch die größte mittägige Höhe der Sonne von der eigentlichen Solstitialhöhe nur wenig verschieden sein, und daher, wenigstens in einer ersten Näherung, ohne merklichen Fehler eine für die andere genommen werden können.

Da uns demnach die beiden schon früher bestimmten Äquinoktialpunkte,

d. h. die Durchschnittslinie von Äquator und Ekliptik, und der Winkel, den die letztere mit dem ersteren bildet, gegeben sind, so ist dadurch auch die Lage der Ekliptik gegen den Äquator bestimmt.

§ 22. (Bestimmung der Schiefe der Ekliptik und der Polhöhe zugleich.) Wir haben eben gesehen, daß man nur einen der beiden Solstitialpunkte am Himmel zu beobachten braucht, um daraus und aus der bereits bekannten Polhöhe die Schiefe der Ekliptik abzuleiten. Diese Polhöhe aber haben wir bereits oben (Einl., § 20) aus den Beobachtungen der Cirkumpolarsterne in ihren beiden Kulminationen gefunden. Allein man kann sich auch davon noch unabhängig machen und allein durch die Sonne sowohl die Schiefe der Ekliptik als auch die Polhöhe erhalten, wenn man nicht bloß ein Solstitium, sondern im Laufe eines halben Jahres beide Sonnenwenden beobachtet. Da nämlich die Ekliptik und der Äquator als größte Kreise des Himmels (Einl., § 2) sich gegenseitig in 2 gleiche Teile teilen, so stehen nicht bloß die Nachtgleichen, sondern auch die beiden Wendepunkte einander genau gegenüber, und die eine, die nördliche Hälfte der Ekliptik, erhebt sich ebenso hoch über den Äquator, als die andere unter ihn hinabsteigt, so daß der Äquator selbst in der Mitte zwischen den beiden Solstitien liegt. Hat man daher die Sonne zur Zeit der beiden Solstitien beobachtet, so ist die halbe Differenz dieser beiden Höhen die Schiefe der Ekliptik, die man sonach, ohne die Polhöhe zu kennen, finden kann. Die halbe Summe jener beiden Höhen aber giebt die gesuchte Höhe des Äquators, und diese von 90° subtrahiert, die Polhöhe des Beobachtungsortes. (Einl., § 13). So beobachtete man in Wien folgende Solstitialhöhen der Sonne:

am 21. Junius 65° 13·4′ und
= 21. Dezember 18° 18·8′.

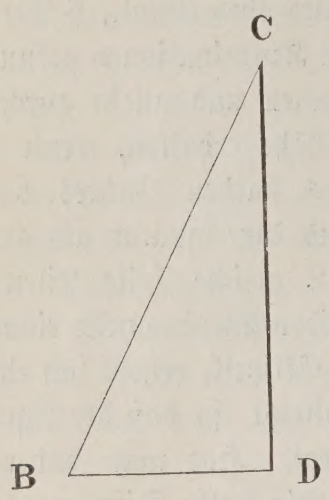
Die halbe Differenz dieser beiden Zahlen, oder 23° 27·3′, ist die Schiefe der Ekliptik, und die halbe Summe derselben, oder 41° 46·1′, ist die Äquatorhöhe, also auch 48° 13·9′ die gesuchte Polhöhe des Beobachtungsortes.

§ 23. (Gnomon.) So einfach auch der Quadrant, (Einl., § 19) mit welchem man die Höhe der Sterne messen kann, sein mag, ist er, wenn er genaue Resultate liefern soll, in seiner Konstruktion sowohl als auch in seinem Gebrauche doch manchen Schwierigkeiten ausgesetzt, welche für die früheren Künstler und Astronomen nicht leicht zu beseitigen waren. Er ist deshalb auch erst um die Mitte des vorigen Jahrhunderts mit einer den Forderungen der Wissenschaft angemessenen Genauigkeit in die beobachtende Astronomie eingeführt worden. Die Alten mußten sich mit viel einfacheren Werkzeugen begnügen, und da sie sich vorzüglich mit den Beobachtungen der Sonne beschäftigten, so suchten sie auch ihre Instrumente diesen Beobachtungen gemäß einzurichten.

Das älteste und einfachste dieser Instrumente war ohne Zweifel der Gnomon, ein geradliniger Stab, den man vertikal auf einer horizontalen Ebene aufstellte. Aus dem Schatten, den der Gnomon, wenn er von der Sonne beschienen wird, auf diese Ebene wirft, kann man aber leicht die Höhe der Sonne ableiten.

Um dies besser zu übersehen, sei CD (Fig. 8a) die Höhe des vertikalen Gnomons, z. B. von 10 m und DB die Länge seines horizontalen Schattens von 5 m. Verbindet man die beiden äußersten Punkte C und B des Gnomons und des Schattens durch die gerade Linie BC, so erhält man ein geradliniges, in D rechtwinkliges Dreieck BCD, dessen Winkel B der gesuchten Höhe der Sonne gleich ist, weil ein Auge in B die Sonne in der Richtung der Linie BC, also in der Höhe DBC über der horizontalen Linie BD sehen würde. Es wird nun darauf ankommen, die Größe dieses Winkels B des Dreieckes zu bestimmen.

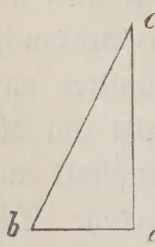
Fig. 8a.



Aufgaben dieser Art gehören in die ebene Trigonometrie, die uns lehrt, wie man, wenn von den Seiten und Winkeln eines Dreiecks 3 Stücke gegeben sind, die andern 3 durch Rechnung finden kann. So sind hier 2 Seiten CD und BD mit dem von ihnen eingeschlossenen rechten Winkel gegeben, und der einer dieser Seiten gegenüberstehende Winkel ist zu finden. Da es gegen unsere Absicht ist, die Lehren der Trigonometrie hier vorzutragen, wollen wir ein anderes Mittel angeben, durch welches man ebene Dreiecke auch ohne jene Kenntnisse, allerdings aber nur mit einer viel geringeren Genauigkeit auflösen kann.

Man sieht leicht, daß der gesuchte Winkel auch in jedem andern, selbst viel kleinern rechtwinkligen Dreiecke dieselbe Größe, d. h. dieselbe Anzahl von Graden haben werde, wenn nur das Verhältnis der beiden gegebenen Seiten CD und BD in dem kleineren Dreiecke dasselbe wie in dem großen ist. In dem obigen Dreiecke ist aber dieses Verhältnis gleich dem der beiden Zahlen 10 zu 5 oder einfacher gleich 2 zu 1. Man verzeichne sich also auf irgend einer Ebene, z. B. auf der des Papiers, zwei unter einem rechten Winkel in dem Punkte d sich durchschneidende Linien, nehme von diesem Punkte d auf der einen dieser Linien, mittels des Maßstabs die Länge dc, z. B. von 2 cm, auf der andern die Länge db von 1 cm, und vereinige dann die beiden Endpunkte b und c dieser Linie durch die gerade bc, so erhält man ein anderes Dreieck bcd, welches dem Dreiecke des Gnomons vollkommen ähnlich ist, indem es genau dieselben Winkel wie jenes hat, die Seiten aber denen des gegebenen proportional sind. In diesem kleineren Dreiecke bcd, welches man das verjüngte nennt, kann man aber den Winkel an b mittels des bekannten Winkelmessers (Transporteur) bestimmen, und wird ihn sehr nahe 63° 26′ finden: ganz ebenso groß ist also auch der Winkel B in dem großen Dreiecke BCD des Gnomons.

Fig. 8b.



Nach der oben erwähnten trigonometrischen Rechnung wäre

$$\text{Tang. } B = \frac{CD}{BD} = \frac{30}{15} = 2$$

und wenn man nun in den trigonometrischen Tafeln den Winkel aufsucht, dessen Tangente gleich 2 ist, so findet man für denselben: 63° 26′ 6″.

Um das Vorhergehende auf eine Beobachtung mit dem Gnomon anzuwenden, wollen wir eine der ältesten astronomischen Beobachtungen, die überhaupt auf uns gekommen sind, als Beispiel wählen. Der Jesuit Gaubil, der sich in der Mitte des vorigen Jahrhunderts lange bei der Mission in China aufgehalten hat, berichtet uns aus einem alten chinesischen Manuskripte, daß der Kaiser Tschu-Kong in dem Jahre 1100 vor dem Anfange der christlichen Zeitrechnung, also zur Zeit, als Kodrus in Athen und David in Judäa lebten, die Höhe der Sonne in ihren beiden Solstitien mit einem Gnomon beobachtet habe. Der Ort dieser Beobachtung war die Stadt Lo-Yang oder, wie sie heute genannt wird, Honan-Fu in der Provinz Honan, dem sogenannten Garten des Reiches, dessen Hauptstadt Kai-fong-fu ist. Die Höhe seines Gnomons betrug 8 chinesische Fuß über dessen horizontaler Basis, und die Länge des beobachteten Schattens war, nach der daran angebrachten Korrektion wegen des Halbmessers der Sonne und der Refraktion (s. unten Kap. XI) 1·54 chinesische Fuß im Sommer- und 13·12 im Winter-Solstitium. Ohne die wahre Größe des chinesischen Fußes zu kennen, kann man mit diesen Zahlen nach dem soeben Erwähnten verfahren, wodurch man für die Solstitialhöhe der Sonne im Sommer 79° 6′ und im Winter 31° 22′ finden wird.

Darnach ist (§ 22) die halbe Differenz dieser beiden Zahlen, oder 23° 52′ die Schiefe der Ekliptik, und die halbe Summe derselben oder 55° 14′ die Äquatorhöhe, und dessen Komplement zu 90° d. i. 34° 46′ die Polhöhe von Honan-Fu.

Eine zweite, sehr alte Bestimmung der Schiefe der Ekliptik rührt von dem Griechen Pytheas her, der durch seine astronomischen Kenntnisse, und durch seine zur Verbesserung der Geographie unternommenen großen Reisen bei den Alten in hohem Ansehen stand. Er fand etwa 350 v. Chr. (um die Zeit des Todes Alexanders des Großen) in Marseille, daß sich die Höhe seines Gnomons zur Zeit des Sommersolstitiums zu dessen mittägiger Schattenlänge wie 600 : 209 verhalte. Daraus folgt die Höhe der Sonne gleich 70° 48′ oder richtiger 70° 32′, da man den Schatten des Gnomons wegen des Halbmessers der Sonne, der 16′ beträgt, um diesen Betrag zu kurz beobachtet hat. Nimmt man davon die schon aus anderen Beobachtungen bekannte Äquatorhöhe von Marseille, die gleich 46° 43′ ist, weg, so erhält man für die gesuchte Schiefe der Ekliptik zur Zeit des Pytheas 23° 49′.

§ 24. (Säkulare Abnahme der Schiefe der Ekliptik.) Man hat früher gegen die Authentizität dieser altersgrauen Beobachtungen Zweifel erhoben, weil die aus ihnen gefundene Schiefe der Ekliptik viel größer ist als die, welche wir in unsern Tagen beobachten. Allein es ist jetzt bekannt, daß die Schiefe der Ekliptik seit

beinahe drei Jahrtausenden immer abgenommen hat. Dies zeigt auch die folgende Tabelle.

	Schiefe der Ekliptik.
Tschu-Kong in China, 1100 v. Chr.	23° 52′ —
Der Grieche Pytheas in Marseille, 350 v. Chr.	23 49 —
Der Araber Ibn-Junis in Ägypten, 1000 n. Chr. . . .	23 34 26″
Koschu-King in China, 1280	23 32 2
Ulug-Beigh in Samarkand, 1437	23 31 48
Bradley in England, 1750	23 28 18
In unseren Zeiten, 1850	23 27 31

Daß die Abnahme der Schiefe nicht immer genau der Zwischenzeit proportional ist, ist zum großen Teile der Unvollkommenheit der älteren Beobachtungen zuzuschreiben. Die Ursache dieser Erscheinung liegt darin, daß durch die Wirkung der Planeten unseres Sonnensystems auf die Bahn der Sonne diese Bahn dem Äquator in unserer Zeit jährlich 0·474 oder in einem Jahrhunderte 47·4″ näher gebracht wird. Geht man daher von dem Jahre 1850 aus, in welchem die Schiefe der Ekliptik 23° 27′ 31″ betrug, so wird man die Schiefe für jede andere Zeit, die T Jahre von 1850 entfernt ist, erhalten, wenn man das Produkt der Größe 0·474″ mit T von 23° 27′ 31″ subtrahiert. Liegt das gesuchte Jahr *vor* jener Epoche von 1850, so muß dieses Produkt addiert werden. Um dieses auf das vorhergehende Beispiel anzuwenden, so hat man für den Zwischenraum T von Tschu-Kong bis 1850

$$T = 1850 + 1100 = 2950 \text{ Jahre},$$

die mit 0·474″ multipliziert 0° 23′ 19″ geben. Addiert man diese Größe zu 23° 27′ 31″, so erhält man für die durch die Theorie bestimmte Schiefe Tschu-Kong's 23° 50′ 50″, also nur 1′ 10″ kleiner, als sie durch den Gnomon gefunden wurde. Eine so geringe Differenz bei einer so alten Beobachtung, die überdies ihrer Natur nach keiner großen Schärfe fähig ist, bezeugt aber nicht nur die Richtigkeit der Theorie, sondern zugleich auch die Authentizität jener Beobachtung selbst.

Wenn aber die Abnahme der Schiefe immer der Zeit proportional fortginge, so wäre die Folge davon die, daß sie einmal ganz verschwinden oder daß die Ekliptik mit dem Äquator zusammenfallen würde. Eine leichte Rechnung zeigt, daß dies in $\frac{23^\circ\ 27'\ 31''}{0{\cdot}4741''}$ – oder in 178 000 Jahren nach dem Jahre 1850 unserer Zeitrechnung der Fall wäre, und da dann die Sonne in dem Äquator einhergehen müßte, so würden zu jener Zeit Tag und Nacht das ganze Jahr hindurch einander gleich sein, oder die Erde würde einen ewigen Frühling feiern, und die beiden Extreme der Temperatur, der Sommer und der Winter, ganz von ihr verschwinden.

Allein diese Hoffnung des ewigen Frühlings ist ungegründet und wohl ebenso

eitel als die des ewigen Friedens. Es ist nämlich nur annähernd wahr, daß die Schiefe der Ekliptik der Zeit proportional abnimmt, und die oben aufgestellte Formel gilt, streng genommen, kaum für das ganze gegenwärtige Jahrhundert. Eine genauere Untersuchung des Gegenstandes lehrt nämlich, daß der analytische Ausdruck dieser Änderung der Schiefe kein der Zeit proportionales Glied, sondern bloß periodische Glieder enthält, d. h. solche, die nur eine, wenn gleich sehr lange, so doch bestimmte Zeit durch wachsen und dann wieder abnehmen, um endlich, wenn sie ihren kleinsten Wert erreicht haben, wieder allmählich zu ihrem größten hinaufzusteigen. Diesem gemäß geht also der wahre Wert der Schiefe der Ekliptik zwischen den beiden Grenzen von 21^0 und 28^0 auf und ab, ohne dieselben je zu überschreiten, und die Ekliptik wird daher in der Folge der Zeiten ebenso wenig mit dem Äquator zusammenfallen, als sie je in der frühesten Vorzeit senkrecht auf demselben stand. Die Bewegung der Ekliptik ist aber so langsam, daß die Perioden, in welchen sie zwischen jenen beiden Bogen von 7^0 wie ein ungeheures Pendel auf- und niederschwingt, viele Jahrtausende umfassen, und deshalb für Zeiträume von mehreren hundert Jahren ohne merkliche Fehler als der Zeit proportional fortschreitend angesehen werden können. Wir kommen übrigens in der dritten Abteilung unseres Buches bei der Besprechung der säkularen Störungen nochmals ausführlicher auf diesen Gegenstand zurück.

§ 25. (Bestimmung der Nachtgleichenpunkte und Rektascensionen der Sterne.) Wir haben zwar im Vorhergehenden (§ 21) schon ein Mittel angegeben, die Nachtgleichen, d. h. die Durchschnittspunkte von Äquator und Ekliptik wenigstens genähert aufzufinden, dadurch, daß sie an den beiden Tagen, da die Sonne in den Solstitien ist, am Mittage mit dem Ost- und Westpunkte des Horizontes zusammenfallen. Allein diese Bestimmung ist, wie man ohne unsere Erinnerung bemerken wird, nur sehr ungenau und unzuverlässig, daher keineswegs geeignet, diese beiden wichtigen Punkte mit derjenigen Schärfe anzugeben, die sie in so hohem Grade verdienen, da (Einl. § 10, 11) sie es sind, von welchen man die Rektascension sowohl als auch die Länge aller Gestirne zählt, und von deren genauer Bestimmung daher unsere ganze Kenntnis des Himmels abhängt.

Sobald man durch irgend ein Verfahren dahin gelangt ist, den einen dieser beiden Punkte, z. B. den Frühlingspunkt, am Himmel mit Genauigkeit anzugeben, kennt man dadurch auch sofort den Herbstpunkt, da (Einl. § 2) beide Punkte als Durchschnittspunkte zweier größten Kreise einander gegenüberliegen, also in Länge sowohl als in Rektascension genau um 180^0 verschieden sein müssen. Wir wollen also sehen, wie man die Lage des ersten dieser Punkte oder die des Frühlingspunktes am Himmel bestimmen kann.

Man wird aber die Lage des Frühlingspunktes kennen, wenn man die Rektascension irgend eines der zahllosen Fixsterne des Himmels kennt, da man nur von diesem Sterne, als von einem festen Punkte, auf dem Äquator um den Bogen, der die Rektascension dieses Sterns ausdrückt, zurückgehen darf, um den

gesuchten Frühlingspunkt zu erhalten. Weiß man z. B., daß der schöne Stern Schedir oder α auf der Brust der Kassiopeia eine Rektascension von $8^0\ 25'\ 34''$ hat, so wird man nur von dem Punkte, in welchem der Deklinationskreis dieses Sterns den Äquator schneidet, im Äquator um den Bogen $8^0\ 25'\ 34''$ rückwärts oder gegen West gehen, um am Ende desselben den Frühlingspunkt zu finden.

Wie sollen wir nun aber diese erste Rektascension irgend eines jener Sterne bestimmen, indem wir doch den Frühlingspunkt selbst, von dem sie gezählt werden muß, noch nicht kennen? — Da wir offenbar von diesen beiden Dingen, Ort des Frühlingspunktes und Rektascension eines Sterns, eines ohne das andere nicht finden können, so wird wohl nichts übrig bleiben, als zuzusehen, ob man beide zugleich suchen kann.

Da der Frühlingspunkt nur durch die Beobachtung der Sonne bestimmt werden kann, indem er eben derjenige Punkt des Himmels ist, in welchem die Sonne zur Zeit der Frühlingsnachtgleiche steht, so wollen wir wieder unsern Quadranten (Einl., § 19) in der Ebene des Meridians gegen Süden aufstellen, an ihm um die Zeit dieser Nachtgleiche an mehreren Mittagen die Höhe des Mittelpunktes der Sonne beobachten, und überdies an einer Uhr die Zeit bemerken, wann er durch den Meridian geht. Am Abende eines jeden dieser Tage wollen wir auch noch an derselben Uhr die Kulmination irgend eines Sterns oder die Durchgangszeit desselben durch den Meridian des Quadranten bemerken, wobei wir annehmen, daß der Gang dieser Uhr gleichförmig ist und daß sie zwischen zwei nächsten Kulminationen desselben Fixsterns genau 24 Stunden gehe. Dies vorausgesetzt, wird also die Uhrzeit, die zwischen der Kulmination der Sonne und der des Sterns an jedem dieser Beobachtungstage verfließt, zugleich die Differenz der Rektascension dieser beiden Gestirne für den Augenblick des Mittags eines jeden dieser Tage sein.

Da die Sonne eine eigene Bewegung hat oder ihre Rektascension immer ändert, der Stern aber am Himmel fest steht, so wird die Zwischenzeit zwischen der Kulmination der Sonne und des Sterns an jedem Mittage eine andere sein, von einem Tage zum andern aber sich sehr nahe gleichförmig ändern, weil die Rektascension der Sonne ebenfalls täglich sehr nahe gleichförmig wächst.

Wir haben sonach für alle diese Tage eine Reihe von Differenzen der Rektascension der Sonne und des Sterns für den Augenblick des Mittags eines jeden dieser Tage erhalten, und die soeben bemerkte regelmäßige Änderung dieser Differenzen wird uns in den Stand setzen, durch eine einfache Proportion auch diejenige Differenz anzugeben, welche für irgend einen, von dem Mittage verschiedenen Augenblick jener Beobachtungstage statthat. Wüßten wir also nur den Augenblick, da der Mittelpunkt der Sonne durch den Frühlingspunkt ging, so würden wir sofort für denselben Augenblick auch die Differenz der Rektascensionen beider Gestirne durch jene einfache Rechnung angeben können, und diese Differenz

wird, da eines derselben, die Sonne, im Frühlingspunkte steht, zugleich die Rektascension des andern oder die gesuchte Rektascension des Sterns sein.

Demnach ist die Auflösung unserer Aufgabe dahin reduziert, den Augenblick anzugeben, wann der Mittelpunkt der Sonne durch den Frühlingspunkt geht. Die Angabe dieses Moments hat aber keine Schwierigkeit. Denn da wir, wie oben gesagt, an jedem Mittage auch die Höhe der Sonne an dem Quadranten beobachtet haben, und da wir die Äquatorhöhe unseres Beobachtungsortes bereits aus früheren Beobachtungen (Einl., § 20) kennen, liefert eine einfache Subtraktion dieser beiden Größen (Einl., § 22) auch die Deklination der Sonne für den Mittag eines jeden Tages, und der gesuchte Augenblick des Durchgangs der Sonne durch den Frühlingspunkt, d. h. durch den Äquator, wird derjenige sein, in welchem sie verschwindet.

Ist also zufällig irgend eine dieser mittägigen Deklinationen der Sonne gleich Null, so ist der Mittag dieses Tages zugleich der Augenblick der Kulmination des Frühlingspunktes und die Differenz jener Uhrzeiten für diesen Mittag die gesuchte Rektascension des mit der Sonne verglichenen Fixsterns.

Ist indes keine der beobachteten mittägigen Deklinationen der Sonne gleich Null, so wird man aus der erhaltenen Reihe von Deklinationen die beiden kleinsten nehmen und aus ihnen durch eine einfache Proportion leicht den vor oder nach dem Mittage fallenden Augenblick der verschwindenden Deklination ableiten. Kennt man aber diesen Augenblick, d. h. kennt man die Zeit des Durchgangs der Sonne durch den Frühlingspunkt, so wird man aus den oben erwähnten Differenzen der mittägigen Zwischenzeiten der Kulminationen beider Gestirne durch eine ähnliche Proportion auch die Zwischenzeit für diesen Augenblick finden, und diese wird die gesuchte Rektascension des beobachteten Sterns sein.

Um das Vorhergehende durch ein Beispiel zu erläutern, wollen wir annehmen, daß man im Jahre 1880 in Wien folgende Höhen des Mittelpunkts der Sonne und Uhrzeiten der Kulminationen derselben und des Sterns α Widder beobachtet habe:

1880	Höhe der Sonne	Kulminationen Sonne	α Widder
März 19	$41^0\ 28'\ 20''$	$23^h\ 56^m\ 51{\cdot}2^s$	$2^h\ 0^m\ 0^s$
= 20	41 52 2	0 0 29·7	2 0 0
= 21	42 15 42	0 4 8·0	2 0 0

Da die Äquatorhöhe des Beobachtungsortes $41^0\ 46'\ 6''$ ist, so findet man aus den beobachteten Höhen der Sonne folgende mittägige Deklinationen derselben:

	Deklinationen
März 19	$0^0\ 17'\ 46''$ südl.
= 20	0 5 56 nördl.
= 21	0 29 36 nördl.

Man sieht daraus, daß das Äquinoktium zwischen die Mittage des 19. und

20. März fällt. Um die Zeit desselben genauer zu finden, hat man aus den beiden ersten Beobachtungen die Proportion

$$23' 42'' : 24^h = 17' 46'' : x,$$

woraus folgt $x = 17 \cdot 992^h$ oder $x = 17^h\ 59^m\ 31^s$, oder die Sonne ging durch den Frühlingspunkt am 19. März $17^h\ 59^m\ 31^s$ nach ihrer Kulmination.

Um nun auch zu erfahren, um wieviel der Stern zu dieser Zeit in Rektascension von der Sonne abstand, wollen wir bedenken, daß oben dieser Unterschied zur Zeit der Kulmination der Sonne am 19. März $2^h\ 3^m\ 8{\cdot}8^s$, am 20. März $1^h\ 59^m\ 31{\cdot}3^s$, somit am 19. März $17^h\ 59^m\ 31^s$ nach der Kulmination der Sonne $2^h\ 0^m\ 25{\cdot}7^s$ betragen habe, also ist auch die gesuchte Rektascension des Sterns gleich derselben Größe oder gleich $2^h\ 0^m\ 25{\cdot}7^s$ oder, wenn man diese Zahl durch 15 multipliziert, um sie in Graden auszudrücken (Einl., § 1), gleich $30^0\ 6'\ 25''$.

Man sieht, daß diese Methode, nebst einem guten Instrumente, um die Höhen und Durchgangszeiten zu messen, auch eine genaue Kenntnis der Polhöhe erfordert. Von der letztern kann man sich größtenteils unabhängig machen, wenn man dieselben Beobachtungen auch in der Nähe des Herbstäquinoktiums wiederholt, wo man, wenn die Polhöhe noch etwas unrichtig ist, in der einen Zeit die Rektascension des Sterns ebensoviel zu groß als in der andern zu klein finden wird, und daher die wahre Rektascension erhält, wenn man aus beiden das Mittel nimmt.

§ 26. (Anfertigung von Sternkatalogen.) Kennt man aber auf diese Art einmal die Rektascension irgend *eines* Sterns, so darf man nur in mehreren aufeinander folgenden Nächten die Kulminationen dieses Sterns mit denen anderer beobachten, wo dann die Differenzen der Durchgangszeiten derselben durch den Meridian, zu der bereits bekannten Rektascension des ersten Sterns addiert, auch die Rektascensionen der übrigen Sterne geben werden. Hat man so eine Anzahl von Fixsternen in Beziehung auf Rektascension und, durch ihre beobachteten Meridianhöhen, in Beziehung auf Deklination (Einl. § 22) bestimmt, so wird man sie, nach ihrer Rektascension geordnet, in einen Katalog bringen, um die so gewonnenen Positionen für weitere Untersuchungen leicht benützen zu können.

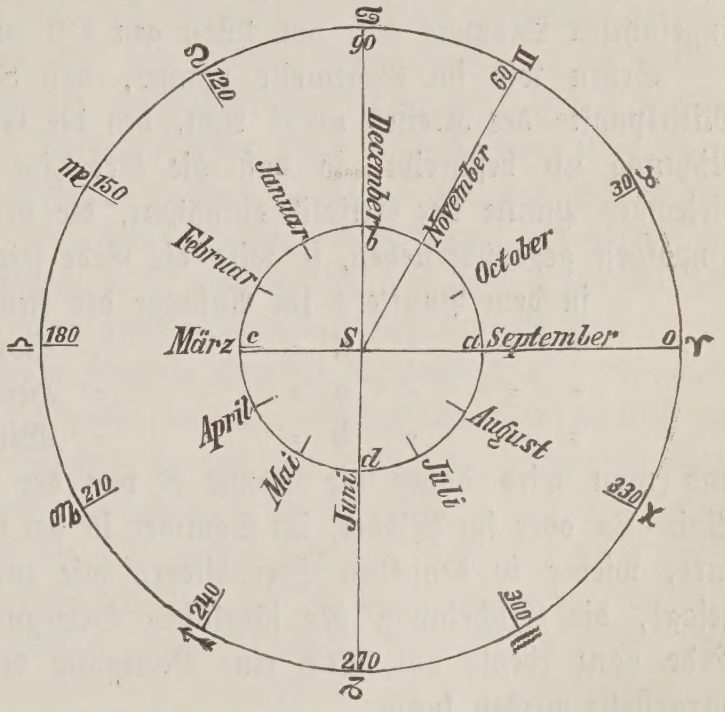
§ 27. (Doppelte Erklärung der jährlichen Bewegung der Sonne.) Wir haben bisher ohne weitere Überlegung dem Zeugnisse der Sinne gemäß angenommen, daß die Sonne es sei, die unter den Sternen des Himmels sich fortbewegt, und diesem Scheine entsprechend, die Bahn bestimmt, in der sie einhergeht. Es wird wohl aber geraten sein, auch hier ebenso wie bei der scheinbaren täglichen Bewegung des Himmels die Frage aufzuwerfen und eingehender zu erörtern, ob die obige Annahme nicht etwa ebenfalls zu Schwierigkeiten und Ungereimtheiten allerlei Art führe, mit anderen Worten, ob nicht etwa auch hier wie dort, der Schein trügerisch sei.

Es werden sich in der That sämtliche Erscheinungen, die wir oben unter

der Voraussetzung betrachtet haben, daß die Sonne in der Ebene der Ekliptik jährlich ihren Kreislauf um die im Mittelpunkte dieses Kreises ruhende Erde vollende, genau ebenso unserem Auge unter der ganz entgegengesetzten Voraussetzung darstellen, daß die Erde in demselben Kreise, den wir zuvor der Sonne angewiesen haben, sich jährlich um die in dem Mittelpunkte dieses Kreises ruhende Sonne bewege. Auch hier, wie bei der täglichen Bewegung des Himmels, kann in der äußern Erscheinung selbst nichts gefunden werden, was uns für die Annahme der einen oder andern dieser beiden Hypothesen vorzugsweise bestimmen könnte, und es muß daher wieder anderen, *inneren* Gründen überlassen bleiben, zu entscheiden, welche von den beiden Voraussetzungen die wahre ist.

Die Fixsterne, mit welchen wir oben die Bewegung der Sonne verglichen haben, um daraus die Bahn der letzteren abzuleiten, dienen uns als die einzigen festen Punkte des Himmels, die wir kennen, gleichsam als Grenzsteine, mit welchen wir die Sonne, den Mond und die Planeten verbinden, um daraus die Orte dieser Himmelskörper zu bestimmen. Wir denken uns in die Mitte dieser großen Rotunde versetzt, auf deren Gewölbe die Sterne befestigt sind, und sehen in einer gewissen Entfernung von uns einen Körper, die Sonne, der den links oder östlich von ihm stehenden Sternen immer näher rückt und einen nach dem andern auf seinem Wege mit dem Lichte bedeckt, das er nach allen Seiten ausstrahlt. Allein ganz dasselbe werden wir auch zu sehen glauben, wenn dieser leuchtende Körper selbst im Mittelpunkte jener Rotunde ruhte und dagegen unsere Erde in derselben östlichen Richtung um ihn liefe. Der Punkt der Rotunde, den uns die Sonne verdeckt, wird ebenso wie dort nach der linken Seite laufen, die Sonne wird auch hier den von ihr östlich liegenden Fixsternen immer näher rücken, kurz, die ganze Erscheinung wird dieselbe sein. Wenn man in der Mitte eines Saales ein Licht auf den Tisch stellt und um diesen Tisch herumgeht, so wird man das Licht ganz auf dieselbe Art an der Wand herumrücken sehen, als wenn man selbst in der Mitte des Saales still steht und das Licht in derselben Nähe und in derselben Richtung um sich herumtragen läßt.

Fig. 9.



Denken wir uns die Erde S (Fig. 9) im Mittelpunkte des gestirnten Himmels,

und lassen wir um sie die Sonne sich jährlich in dem Kreise abcd in der Richtung von a nach b bewegen. Die Sonne sei

in dem Punkte a im Anfange des Frühlings am 21. März,
= = = b = = = Sommers = 21. Juni,
= = = c = = = Herbstes = 22. September,
= = = d = = = Winters = 21. Dezember,

so wird die Sonne, von der Erde S aus gesehen, im Anfange dieser vier Jahreszeiten

im Frühling in der Linie Sa oder im Widder ♈,
= Sommer = = = Sb = = Krebs ♋,
= Herbst = = = Sc = in der Wage ♎,
= Winter = = = Sd = im Steinbock ♑

erscheinen und im Laufe des Jahres alle Sternbilder der Ekliptik in der Einl. § 11 angeführten Ordnung oder von West gen Ost zu durchlaufen scheinen.

Setzen wir im Gegenteile voraus, daß S die Sonne bezeichne, die im Mittelpunkte des Kreises abcd ruht, den die Erde jährlich um sie in derselben Richtung ab beschreibt, so daß die Erde im Anfange der vier Jahreszeiten diejenigen Punkte der Ekliptik einnähme, die der Sonne in der vorhergehenden Hypothese gegenüberstehen, so wird die Erde sein

in dem Punkte c im Anfange des Frühlings am 21. März,
= = = d = = = Sommers = 21. Juni,
= = = a = = = Herbstes = 22. September,
= = = b = = = Winters = 21. Dezember,

und man wird daher die Sonne S von der Erde aus im Frühling in der Linie cSa oder im Widder, im Sommer in der Linie dSb oder im Krebs u. s. f., kurz, wieder in denselben Sternbildern wie zuvor erblicken, so daß also, wie gesagt, die Erscheinung der jährlichen Bewegung der Sonne um die ruhende Erde ganz ebenso gut durch eine Bewegung der Erde um die ruhende Sonne dargestellt werden kann.

Welche dieser Voraussetzungen ist nun die wahre?

§ 28. (Die Sonne, als vorzüglichster Körper des Planetensystems, steht wahrscheinlich in der Mitte desselben.) Die Sonne ist bekanntlich die Quelle des Lichts und der Wärme, nicht bloß für unsere Erde, sondern noch für eine sehr große Anzahl anderer, unserer Erde ähnlicher Himmelskörper, für die Planeten und Kometen, also auch wohl, wenigstens höchst wahrscheinlich die Quelle aller der mannigfaltigen Bewegungen, welche wir an diesen Himmelskörpern bemerken. Um diese letzten für die zahllosen Wohlthaten, welche sie von der Sonne erhalten, am meisten fähig und empfänglich zu machen, wird es wohl am angemessensten sein, den Thron der Sonne in der Mitte aller anderen Bahnen, also auch in der Mitte der Erdbahn zu errichten, damit alle übrigen Körper des Systemes von ihren Strahlen gleichförmig erleuchtet und erwärmt werden können. — Allein Gründe dieser

Art gehören mehr der Imagination als dem Verstande, mehr der Dichtkunst als der Mathematik an, und sind, wie so manche andere aus dem Gebiete der Metaphysik, auf eine vielleicht nur eingebildete Harmonie des Weltalls gebaut. Wenn wir uns der Wahrheit mit sicheren Schritten nähern wollen, so müssen wir jene Abwege, die schon oft genug irre geführt haben, vermeiden und uns nur an solche Gründe halten, die entweder aus bloßen Beobachtungen hervorgehen, oder ein unmittelbares Resultat der Rechnung sind, da diese beiden Quellen die einzigen sicheren Grundlagen aller menschlichen Erkenntnisse bilden.

§ 29. (Die Erde bewegt sich um die viel größere Sonne.) Schon etwas besser werden wir verfahren, wenn wir auf die bereits bekannte Größe der zwei Körper, um die es sich hier handelt, Rücksicht nehmen. Die Sonne ist, wie wir schon einmal erwähnten, eine Kugel von so ungeheurer Größe, daß man daraus eine und eine Viertel-Million solcher Kugeln, wie unsere Erde ist, machen könnte. Welches mächtige, uns unsichtbare Band nun auch diese beiden Körper aneinanderknüpfen, welche Kraft den einen derselben um den andern führen mag, — ist es nicht auf den ersten Blick schon unendlich wahrscheinlicher, daß diese Kraft in dem größeren wohnen, daß also der kleinere Körper sich um den so vielmal größeren, nicht aber dieser sich um jenen bewegen werde? — Wenn wir zwei Steine von sehr verschiedenem Gewichte an die beiden Enden einer Schnur befestigen und sie so verbunden in die Luft schleudern, so werden sich nach den ersten Gesetzen der Mechanik beide Körper um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt drehen, und wenn der eine dieser Steine von nahe gleichem spezifischem Gewichte $1\frac{1}{4}$ Millionen mal größer ist als der andere, so wird jener gemeinschaftliche Schwerpunkt mit dem Mittelpunkte des größeren Steines so gut wie vollständig zusammenfallen, also nahe in der Mitte des größeren Steines liegen. Die Folge davon wird sein, daß der kleinere Stein sich um den großen bewegen, und daß dieser große seinen Ort nur unmerklich verändern oder nur sehr kleine Bewegungen um jenen gemeinschaftlichen Schwerpunkt machen wird. Dasselbe wird also auch der Fall mit jenen zwei Körpern des Himmels sein, die ebenso sehr an Größe unter sich verschieden sind und sich frei und ohne fremde Einwirkung anderer Körper im Weltraume bewegen.

§ 30. (Analogie der Erde mit den übrigen Planeten.) Wir haben schon öfters der Planeten erwähnt, dieser Himmelskörper, die, wie die Fernrohre zeigen, uns viel näher sind als die Fixsterne. Sie erscheinen uns in solchen in der Gestalt von kleineren oder größeren runden Scheiben, während die unendlich weit entfernten, obschon vielleicht an sich viel größeren Fixsterne wegen ihrer ungemeinen Entfernung nur als unteilbare Punkte gesehen werden, und kommen uns öfters so nahe, daß der Durchmesser ihrer Scheibe z. B. bei der Venus 7mal, bei Mars 9mal größer erscheint als zu anderen Zeiten, und daß sie ähnliche Lichtphasen wie die des Mondes im zu- und abnehmenden Lichte zeigen. Sie scheinen also recht eigentlich uns, unserem Sonnensysteme anzugehören, wie unsere Erde selbst, und

daher auch in dieser Beziehung mit der Erde verwandte Himmelskörper zu sein. Wenn man aber ihre Bewegungen, wie sie von der Erde gesehen werden, unter den fixen Sternen des Himmels einige Zeit verfolgt, so bemerkt man bald, daß die Bahnen derselben äußerst unregelmäßig scheinen. Sie zeigen nämlich nicht nur sehr auffallende Änderungen ihrer Geschwindigkeiten, sondern stehen oft längere Zeit ganz unbeweglich bei einem Sterne und bewegen sich bald gegen Osten, bald auch in umgekehrter Richtung, gegen Westen, beschreiben, kurz gesagt, eine äußerst verwickelte krumme Linie, die aus Knoten und Schlingen besteht und in keinem ihrer Teile Ordnung und Regelmäßigkeit vermuten läßt. Noch verwickelter erscheinen die Bahnen der Kometen.

Die Alten haben sich lange gequält, diese Verwickelungen zu erklären, und sind dabei auf ebenso sonderbare als sinnreiche Mittel verfallen, die aber nicht zu dem gewünschten Ziele führten. Kopernicus war der Erste, der lebhaft fühlte, daß diese so künstlich verschlungenen Linien nicht die wahren Bahnen der Planeten sein können, und der, von diesem Gefühle gedrängt, den wahren und einzig möglichen Weg einschlug, diesen sonderbaren und so lange unerklärten Unregelmäßigkeiten dadurch ein Ende zu machen, daß er zu erkennen suchte, wie die Bahnen der Planeten aus dem Mittelpunkte der Sonne erscheinen mögen. Und er fand, daß von diesem Standpunkte aus alle jene Unregelmäßigkeiten wie ein gelöster Zauber verschwinden, daß diese früher so komplizierten Bewegungen ganz ebenso einfach und regelmäßig werden wie die, welche wir bei der Sonne und dem Monde bemerken. Jene sonderbaren Knoten und Schlingen lösten sich sofort von selbst auf, und die Stillstände sowie die rückgängigen Bewegungen erschienen nur als optische Täuschungen, die bloß daher kommen, daß wir diese Planeten nicht aus der Sonne, als aus dem fixen Mittelpunkte ihrer Bahnen, sondern daß wir sie aus der Erde, aus der sich um die Sonne bewegenden Erde, also aus einem Standpunkte betrachten, der seinen Ort im Weltraume selbst mit jedem Tage ändert. Die einfache und solange verborgene Idee, daß alle Planeten, also auch die Erde, Kreise von bestimmten Halbmessern beschreiben, in deren gemeinschaftlichem Mittelpunkte die Sonne ruht, — diese Idee löste mit eins, wie wir weiter unten sehen werden, alle die großen Schwierigkeiten, die den scharfsinnigsten Astronomen des Altertums unübersteiglich schienen; sie verwandelte eine unerklärbare Unordnung und Gesetzlosigkeit in die schönste, einfachste Harmonie und schuf gleich einem Blitze die dunkelste Nacht zum hellsten Tage um. Diese Idee war es, wodurch uns Kopernicus die wahre Anordnung des Weltsystems offenbarte, und wodurch er der Begründer der neuen Astronomie geworden ist.

Daraus ersehen wir wieder sehr deutlich, daß man die Erde nicht als einen isolierten, für sich bestehenden Körper, dessen gleichen nicht mehr in der Natur zu finden ist, sondern daß man sie im Chor der anderen Erden unseres Sonnensystems, als ein Glied der ganzen großen Familie von Planeten betrachten müsse, denen sie in so vielen Beziehungen ganz ähnlich ist. So wie Jupiter, unseren

Beobachtungen zufolge, in jedem seiner Tage sich um sich selbst und in jedem seiner Jahre, in der Begleitung seiner 4 Monde, um die Sonne bewegt, so dreht auch unsere Erde sich täglich um ihre Achse, so bewegt auch sie sich, in Begleitung ihres Mondes, jährlich um die Sonne. Ein Beobachter auf Jupiters Oberfläche würde ebenso wie wir, wenn er bloß dem ersten Eindrucke seiner Sinne folgte, das ganze Planetensystem und die Sonne selbst um sich, als um den Mittelpunkt aller jener Bahnen, in Bewegung glauben, und seine etwa 1300 mal größere Erde würde diese Täuschung noch beträchtlich annehmbarer machen.

Aus der Sonne gesehen, liegen auch die Ebenen der Kreise, welche die Planeten um sie zu beschreiben scheinen, alle in geringen Entfernungen um die Ekliptik, d. h. um die Bahn der Erde, die also mitten unter den Bahnen aller übrigen angetroffen wird. Die Bewegungen gehen überdies alle in der Richtung von West gen Ost vor sich, und ebendieselbe Richtung muß auch die Bewegung der Erde haben, wenn die in § 27 erwähnten Erscheinungen stattfinden sollen. Schon diese beiden Analogieen machen die jährliche Bewegung der Erde um die ruhende Sonne sehr wahrscheinlich; aber diese Wahrscheinlichkeit wird dadurch noch sehr vermehrt, daß wie wir weiter unten (Kap. VIII) sehen werden, auch die Erde den durch Kepler aufgefundenen Gesetzen unterworfen ist, welche die Bewegungen aller Planeten regeln; wir werden deshalb wohl annehmen müssen, daß sie auch ein Planet ist und sich wie alle übrigen um die Sonne bewegt. — Dieselbe Centralkraft der Sonne, welche die Planeten in ihren Bahnen festhält, und welche die den Planeten vermöge ihrer Bewegung zukommende Centrifugalkraft (§ 13, III) aufwiegt, — wie sollte sie nicht auch auf die Erde wirken, und wie sollte dann die Erde dieser Wirkung der Centralkraft der Sonne widerstehen, wenn nicht auch sie mit einer Centrifugalkraft, d. h. wenn nicht auch sie mit einer Bewegung um die Sonne begabt wäre?

§ 31. (Die jährliche Bewegung der Erde ist eine Folge der täglichen.) Wenn wir ferner die tägliche Rotation als bewiesen voraussetzen, wie wir dieses nach dem Vorhergehenden zu thun wohl berechtigt sind, und wenn wir dann die Ursache aufsuchen, welche dieser Rotation ihre Entstehung gegeben hat, so können wir sie nur in einem Stoße finden, den die Erde während ihrer Bildung durch eine äußere Kraft erhalten hat, und der z. B. von der Anziehung irgend eines Körpers außer ihr entstanden sein kann. Wenn die Richtung dieses Stoßes nicht genau durch den Mittelpunkt der Erde gegangen ist, — und wie unwahrscheinlich wäre diese Annahme unter den unzähligen andern möglichen Fällen, — so mußte dadurch die Erde, gleich einem Kreisel, eine Rotation erhalten, die desto schneller sein mußte, je größer jener ursprüngliche Stoß und je weiter seine Richtung von dem Mittelpunkte der Erde entfernt war. Allein jeder solcher Stoß, der eine Rotation der Erde hervorbringt, mußte auch zugleich eine fortschreitende Bewegung ihres Mittelpunkts erzeugen. Wir wissen aus Erfahrung, wie schwer es ist, einen Körper um eine Achse zu drehen, ohne ihn zugleich aus seiner

Stelle zu rücken, ja, daß dieses eigentlich ganz unmöglich ist, wenn der Körper nicht auf irgend eine Weise an seiner Stelle festgehalten wird. Da aber die Erde, soviel wir wissen, durch keine äußere Kraft im Weltraume festgehalten wird, so ist schon die bloße Existenz ihrer Rotation zugleich ein Beweis für die progressive Bewegung derselben.

Übrigens ist die jährliche Bewegung der Erde viel schneller als die tägliche. Vermöge der letztern beschreibt jeder Punkt der Oberfläche des Äquators während seiner Rotation in einer Sekunde nur 460 m, während jeder Punkt der Erde in ihrer jährlichen Bewegung um die Sonne in einer Sekunde nahe an 29·6 km zurücklegt, so daß die letztere Geschwindigkeit 64mal größer ist als die erste. Während wir also die wenigen Zeilen dieses letzten Absatzes gelesen haben, sind wir wohl schon über 150 km im Raume fortgerückt. Könnten wir in irgend einem Fahrzeuge mit derselben Geschwindigkeit, welche die Erde in ihrer Bahn hat, auf der Oberfläche der Erde uns bewegen, so würden wir eine sogenannte Reise um die Welt oder den Umkreis der Erde von rund 40000 km schon in $22^1/_2$ m zurücklegen, wozu Kapitän Cook bei seiner ersten Weltumsegelung 3 Jahre und 14 Tage brauchte. Ohne die Umwege und Abhaltungen aller Art, denen eine solche Reise gewöhnlich ausgesetzt ist, würde ein Schiff, das in jeder Stunde 10 km zurücklegt und dabei unabläßig fortsegelt, jene Reise um die Erde doch erst in 167 Tagen vollenden, während selbst ein Expreßtrain mit 50 km Geschwindigkeit in der Stunde, ebenfalls bei stets ununterbrochener Fahrt, hierzu noch immer mehr als 33 Tage benötigen würde.

Obschon wir aber nach allem Vorhergehenden die Voraussetzung der jährlichen Bewegung der Erde um die Sonne als höchst wahrscheinlich, wenn nicht als unzweifelhaft annehmen dürfen, so müssen wir doch auch gestehen, daß die Gründe, welche wir bisher für die Existenz dieser Bewegung vorgetragen haben, so großen Gewichtes sie an sich sein mögen, doch keine unanfechtbaren Beweise für dieselbe sind, und daß es daher wünschenswert wäre, solche, womöglich auf der Erde selbst aufzufinden. So hatten wir oben für die tägliche Rotation der Erde sehr deutliche Spuren an ihr selbst gefunden, nämlich an ihrer Abplattung bei den Polen, an der östlichen Abweichung frei fallender Körper, an der Änderung der Pendellänge u. s. w. Sollten sich nun nicht auch von der jährlichen Bewegung der Erde ähnliche Zeugnisse auf ihr selbst finden lassen, besonders da diese Bewegung so viel schneller sein soll als jene?

Dieser Wunsch wird allerdings schwer zu befriedigen sein, da beide Bewegungen, in Beziehung auf diesen unsern Zweck, sehr von einander verschieden sind. Denn bei der täglichen Rotation bewegen sich verschiedene Punkte der Erdfläche mit sehr verschiedenen Geschwindigkeiten, und dies bot uns die Merkmale dar, an welchen wir jene Rotation selbst erkennen konnten. Bei der jährlichen Bewegung verhält sich die Sache nicht mehr so, da hier alle, selbst die inneren Teile der Erde, mit gleicher Geschwindigkeit und in derselben Richtung fortgeführt werden, daher denn

auch diese Bewegung durch eine bloße Vergleichung der einzelnen Teile der Erde nicht weiter erkannt werden kann.

Sollte sie aber, wenn auch nicht an der Erde selbst, nicht doch wenigstens an den Gegenständen außer ihr bemerkbar sein und da Spuren zurücklassen, an welchen wir sie zu erkennen imstande sind? — Die Kapitel V und VI werden uns Gelegenheit geben, diese Frage näher zu untersuchen. Inzwischen wollen wir die Existenz der Bewegung der Erde um die Sonne, durch die eben beigebrachten Gründe als erwiesen annehmen, und im folgenden Kapitel eine der wichtigsten Folgen dieser Bewegung, verbunden mit der täglichen Rotation der Erde um ihre Achse näher betrachten.

Kapitel IV.

Jahreszeiten.

§ 32. (Vorteile und Ursachen der Abwechselung der Jahreszeiten.) Der täglichen Rotation der Erde um ihre Achse, und ihrer jährlichen Bewegung um die Sonne verdanken wir unsere Tages- und Jahreszeiten, zwei der wohlthätigsten Geschenke des Himmels, ohne die unser Leben nicht den tausendsten Teil des Reizes hätte, der uns jetzt so innig an dasselbe kettet, daß selbst der Unglücklichste von uns es nur mit Schmerz und widerstrebendem Kampfe verlassen kann. Wie wir uns an jedem Morgen nach einem erquickenden Schlafe mit neuen Kräften der kommenden Sonne entgegen erheben, so gießt auch jeder wiederkommende Frühling neue sanfte Wärme in unsere Adern nnd erfüllt uns mit neuen Hoffnungen, indem er die ganze Natur aus ihrem starren Winterschlafe weckt und unsere Gärten und Fluren mit duftenden Blüten schmückt. Wenn diese wohlthätigen Veränderungen auf der Oberfläche unserer Erde nicht existierten, wie würde es dann um die gesamte Vegetation, um das Leben der Pflanzen und Tiere, um die Verschiedenheit der Erzeugnisse des Bodens und der Manufakturen, wie würde es um den Länder verbindenden Handel, um unsere geistige Kultur und um uns selbst stehen!

Diese Veränderungen verdanken wir aber zunächst der täglichen Rotation der Erde um ihre Achse. Denn nehmen wir auf einen Augenblick an, daß die Erde sich so um die Sonne bewegte wie der Mond um die Erde, der ihr immer dieselbe Seite zuwendet, während die andere ewig von ihr abgekehrt bleibt, so würde die eine Hälfte unserer Erde nie das Licht der Sonne schauen und immerdar in finsterer Nacht begraben liegen. Wenn der Weltteil, den wir bewohnen, wenn Europa dieser unglücklichen, von der Sonne stets abgewendeten Hemisphäre angehörte, wie ganz anders würde dann die Geschichte desselben, ja die des gesamten

Menschengeschlechtes aussehen, — wenn überhaupt zur ewigen Finsternis verurteilte Wesen noch eine Geschichte ihrer Thaten und Erfindungen haben können.

Oder wenn die Erde zwar eine jährliche Bewegung um die Sonne, aber keine tägliche um ihre eigene Achse hätte? — Dann würden wohl alle Teile der Erde sich nach und nach der Sonne zuwenden, Tag und Nacht würden auf ihr wechseln; aber welch ein Tag und welche Nacht! — Jede dieser zwei Tageszeiten würde ein volles halbes Jahr währen, und im Laufe des ganzen langen Sonnenjahres würde jeder Ort der Erde, gleich unseren gegenwärtigen Bewohnern der beiden Pole, sechs Monate die Sonne sehen und sechs andere in tiefer Nacht und in einer erstarrenden Kälte vertrauern.

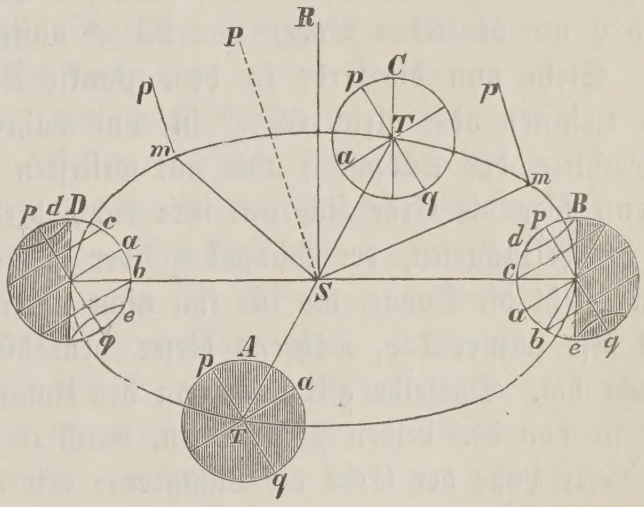
In dieser Anordnung würde die Ebene der Erdbahn die Oberfläche der Erde immer in demjenigen Kreise schneiden, der jetzt auf unseren Erdgloben, ebenso zweckwidrig wie unnütz, als Ekliptik bezeichnet wird, und die Folge davon würde sein, daß alle die Orte der Erde, welche unter diesem Kreise liegen, die Sonne einmal im Jahre in ihrem Zenithe sehen, und zwar sehr lange sehen würden, indem die Strahlen derselben für jeden Bewohner jener Orte beinahe zwei volle Monate durch immer nahe senkrecht auf seinen Scheitel fielen. Welche lange, drückende Mittagsstunden, deren Schwüle nur wieder mit der starren Kälte der ebenso langen Stunden der Mitternacht in Vergleich gebracht werden könnte! Aber auch die übrigen Menschen, die zu beiden Seiten dieses unheilvollen Kreises wohnen, würden keine Ursache haben, sich aus diesem Grunde glücklicher zu preisen, da auch sie in der zu lange anhaltenden Hitze verschmachten oder in dem halbjährigen Froste erstarren müßten.

Diesen Übeln ist durch die einfache Einrichtung, daß die Erde in der kurzen Zeit eines Tages sich um ihre Achse dreht, wenigstens größtenteils abgeholfen. Ich sage größtenteils; denn wenn zu dieser Umdrehung nicht noch eine zweite Bedingung hinzukäme, so würde es um den schönen Wechsel unserer Jahreszeiten immer noch sehr mißlich stehen. Man lasse die Erde sich täglich drehen, aber in derselben Ebene, in welcher sie jährlich um die Sonne geht, oder mit andern Worten, man lasse die Ekliptik mit dem Äquator zusammenfallen. Die unmittelbare Folge dieser neuen Einrichtung würde sein, daß überall auf der ganzen Erde und durch das ganze Jahr der Tag gleich lang mit der Nacht wäre, und daß für einen bestimmten Ort von einem Wechsel der Temperatur und der Jahreszeiten weiter keine Rede mehr sein würde. Ob wir aber bei einem solchen Zustande, den unsere Dichter wahrscheinlich nur deshalb, weil sie ihn nicht kennen, so oft und schön als ewigen Frühling preisen, uns besser oder auch nur überhaupt noch erträglich befinden würden, möchte sehr zu bezweifeln sein. Die Gegenden unter dem Äquator würden unter der sengenden Hitze ihres Klima verdorren, die weiter von ihm entfernten Länder würden unter ewigem Eise begraben bleiben, und nur ein verhältnismäßig sehr kleiner Teil der sogenannten temperierten Zone würde für uns noch bewohnbar sein.

Die zweite Bedingung, an die wir jene tägliche Rotation der Erde knüpfen müssen, wenn wir all dem erzählten Ungemach entfliehen und uns des so wünschenswerten Wechsels der Jahreszeiten auf unserer Erde in der That erfreuen wollen, hat die Natur durch eine, wie es scheint, sehr geringfügige Einrichtung zu erreichen gewußt, indem sie nämlich der Achse, um welche sich die Erde dreht, und die wir in unserer letzten Hypothese senkrecht auf die Ebene der Erdbahn gestellt haben, eine *schiefe* Stellung gegen diese Ebene gegeben hat. Diese schiefe Stellung der Erdachse gegen die Erdbahn ist die eigentliche Ursache der Jahreszeiten und die Quelle aller der reichen Segnungen, welche dadurch über uns und über unsere Erde ausgegossen werden. Wir wollen diesen wichtigen Umstand, wie er es verdient, sogleich etwas näher betrachten.

§ 33. (Erklärung der vier Jahreszeiten.) Man denke sich durch den Mittelpunkt S (Fig. 10) der Sonne eine fixe Linie SR, die auf der Ebene der Erdbahn oder der Ekliptik senkrecht steht, und eine andere SP, welche mit jener den Winkel PSR gleich $23^1/_2{}^0$, also denselben Winkel macht, unter welchem der Äquator gegen die Ekliptik geneigt ist. Die Erde bewege sich jährlich in dem Kreise ABCD, der Ekliptik, um die Sonne, und drehe sich zugleich täglich um ihre Achse pq, welche letzte in allen Punkten der Erdbahn mit der zweiten der erwähnten fixen Linien, d. h. mit SP parallel bleiben soll, so daß also p den Nord- und q den Südpol der Erde vorstellt.

Fig. 10.



Dies vorausgesetzt, betrachten wir hier zunächst die vier Lagen A, B, C und D der Erde, wo sie zur Zeit des Anfangs des Frühlings, des Sommers, des Herbstes und des Winters unserer nördlichen Hemisphäre ist. In allen diesen Lagen wird nun zwar immer die eine Hälfte der Oberfläche der Erde von der Sonne beschienen, während die andere Hälfte im Schatten oder Dunkel bleibt, wie dies bei jeder von einem Lichte beleuchteten Kugel der Fall ist. Aber diese beiden Hälften, die lichte und die dunkle, sind in Beziehung auf die feste Erdachse pq in jenen vier Lagen sehr verschieden verteilt, oder die Lichtgrenze, d. h. der größte Kreis, welcher jene beiden Hälften trennt, geht zuweilen gerade durch die beiden Pole p und q der Erde, zuweilen aber auch in beträchtlicher Entfernung rechts oder links von diesen Polen vorbei.

Die Ebene der Lichtgrenze steht nämlich immer senkrecht auf allen den

Linien ST . . ., welche den Mittelpunkt der Sonne mit dem der Erde verbinden. Die Linie pq aber, oder die Erdachse macht mit jenen Linien einen spitzen Winkel, so lange die Erde in der Hälfte ABC ihrer Bahn ist, und einen stumpfen in der anderen Hälfte CDA, während bloß in den 2 Punkten A und C, d. h. im Anfange des Frühlinges und Herbstes dieser Winkel ein rechter ist. Der Winkel der Erdachse mp mit der Linie zur Sonne mS oder der Winkel Smp ist nämlich die Poldistanz (Einl., § 9) der Sonne, und am kleinsten, oder gleich $90^0 - 23{\cdot}5^0 = 66{\cdot}5^0$, wenn die Erde in B ist. Von da wächst er, bis er in $C = 90^0$ und endlich in D gleich $90^0 + 23{\cdot}5^0 = 113{\cdot}5^0$ wird, wo er zugleich den größten Wert hat. Von dem Punkte D an, nimmt jener Winkel wieder ab, bis er in A gegenüber von C abermals ein rechter wird, und endlich in B, gegenüber von D, wieder seinen früheren kleinsten Wert von $66{\cdot}5^0$ erreicht.

Markieren wir uns noch auf der Oberfläche der Erde den Äquator durch a, der von beiden Polen gleich weit absteht, die beiden Wendekreise durch b und c (Einl., § 14), die von dem Äquator um den Bogen $ab = ac = 23\frac{1}{2}^0$ entfernt sind, und die beiden Polarkreise durch d und e, die von den beiden Polen p und q um denselben Bogen von $23\frac{1}{2}^0$ abstehen.

Steht nun die Erde in dem Punkte B ihrer Bahn, wo der Winkel Smp am kleinsten oder gleich $66\frac{1}{2}^0$ ist, und daher der Nordpol p am tiefsten in die beleuchtete, der Südpol q aber am weitesten in die dunkle Hälfte der Erde fällt. Wenn hier die Erde sich um ihre Achse dreht, so bleibt der Nordpol p immer in der beleuchteten, der Südpol q aber immer in der dunklen Hemisphäre, oder jener sieht die Sonne, die für ihn nicht untergeht, immer über seinem Horizonte, hat also immer Tag, während dieser, dem die Sonne nicht mehr aufgeht, immer Nacht hat. Dasselbe gilt auch von den Umgegenden der beiden Pole bis dorthin, wo sie von den beiden Polarkreisen, durch d und e, begrenzt werden. Denn da in dieser Lage der Erde die Lichtgrenze mit der Erdachse den Winkel von $23\frac{1}{2}^0$ macht, berührt diese Lichtgrenze die beiden Polarkreise, und daher haben alle Bewohner innerhalb des nördlichen Polarkreises einen immerwährenden Tag und im Gegenteile diejenigen, welche von dem südlichen Polarkreise eingeschlossen werden, eine immerwährende Nacht. Auch auf die noch weiter von den Polen wohnenden Menschen hat diese Stellung der Erdachse gegen die Sonne einen ähnlichen, wenngleich geringeren Einfluß, je näher sie selbst dem Äquator kommen. Denn da die sämtlichen Parallelkreise der Erde durch die Schattengrenze derselben hier in sehr ungleiche Teile geteilt werden, von welchen der größere in der nördlichen Hemisphäre der Tagseite, in der südlichen aber der Nachtseite angehört, so sind, wie schon der erste Blick auf die Zeichnung zeigt, für alle Bewohner der nördlichen Halbkugel die Tagbogen (Einl., § 15) länger als die Nachtbogen, während für die südliche Halbkugel die Nächte länger als die Tage sind. Da endlich der Bogen ac und ab sowie der Bogen pd und qe jeder $23\frac{1}{2}^0$ beträgt, so sehen die Bewohner des nördlichen, durch c gehenden Wendekreises die Sonne zu Mittag

in ihrem Zenithe oder senkrecht über ihrem Scheitel. Alle noch weiter gegen Nord liegenden Orte sehen diese ihre größte mittägige Höhe der Sonne immer kleiner als 90°, bis sie endlich für den Bewohner des Pols p selbst den ganzen Tag in der Höhe von 23·5° über dem Horizonte steht. Der Bewohner des nördlichen Polarkreises d sieht die Sonne um Mittag, wenn er in d ist, in der Höhe von 43°, und um Mitternacht, wenn er durch die Rotation der Erde an die Schattengrenze B kommt, an seinem Horizonte, während im Gegenteile der Bewohner des südlichen Polarkreises e die Sonne nur eben in seinem Mittage an der Nordgrenze seines Horizontes erblickt und gleichsam nur einen Augenblick Tag hat. Aus allem Vorhergehenden folgt, daß die Erde im Orte B ihrer Bahn am 21. Juni ist, wenn in der nördlichen Hemisphäre der Sommer und in der südlichen der Winter anfängt. An diesem Tage würde ein Auge im Mittelpunkte der Erde die Sonne um 23·5° über der Ebene des himmlischen Äquators oder in der nördlichen Deklination 23·5° sehen.

Von allem das Gegenteil erfolgt ein halbes Jahr später, am 21. Dezember, wo die Erde in dem entgegengesetzten Punkte D ihrer Bahn und wo der Nordpol p, derselbe, der früher zur Sonne hingeneigt war, jetzt um denselben Winkel von der Sonne weggewendet ist. Da auch hier wieder die Schattengrenze auf der Linie Sb, welche die Sonne mit der Erde verbindet, senkrecht steht, so ist nun der Nordpol p immer in der dunklen und der Südpol q immer in der hellen Erdhälfte, oder die Sonne geht für jenen Punkt nicht mehr auf und für diesen nicht mehr unter. Die sämtlichen Parallelkreise werden jetzt von der Schattengrenze ganz ebenso ungleich wie zuvor geteilt, aber mit dem Unterschiede, daß jetzt in der nördlichen Hemisphäre die größeren Teile im Schatten liegen, oder daß hier die Nächte länger sind als die Tage, während das Gegenteil in der südlichen Hälfte stattfindet. Jetzt sehen die Bewohner des südlichen Wendekreises b die Sonne in ihrem Zenithe, während sie für den Äquator a im Mittage um 23·5° und für den nördlichen Parallelkreis c um 47° vom Zenithe entfernt ist und endlich für den nördlichen Polarkreis d nur mehr im Mittage für einen Augenblick im südlichen Horizonte erscheint. An diesen Tagen würde ein Auge im Mittelpunkte der Erde die Sonne um 23·5° unter dem himmlischen Äquator oder in der südlichen Deklination von 23·5° sehen.

Zwischen diesen zwei Lagen der Erde, in B zu Anfang des Sommers und in D zu Anfang des Winters der nördlichen Halbkugel, giebt es mitten inne zwei andere, in A und C, wo die Erdachse weder zur Sonne hin-, noch von ihr weggekehrt, sondern wo sie nach der Seite gewendet ist und wo der Winkel Smp, der in B spitz und in D stumpf war, ein rechter wird. Da jetzt die Erdachse auf der die Sonne und Erde verbindenden Linie ebenso senkrecht steht, wie dies die Ebene der Lichtgrenze immer thut, so müssen auch die beiden Pole in diese Schattengrenze selbst fallen, und diese Schattengrenze wird daher alle Parallelkreise in zwei gleiche Teile teilen, oder endlich: Tag und Nacht werden auf der

ganzen Erde dieselbe Länge von 12 Stunden haben. Beide Pole sehen jetzt die Sonne den ganzen Tag in ihrem Horizonte; die Bewohner des Äquators sehen sie um Mittag in ihrem Zenithe, daher auch ein Auge im Mittelpunkte der Erde die Sonne selbst in der Ebene des himmlischen Äquators erblicken würde. In diesen beiden Punkten ist die Erde im Anfange unseres Frühlings in A am 21. März und im Anfange unseres Herbstes in C am 23. September. In diesen beiden Punkten geht die Erde durch die Ebene des himmlischen Äquators; die beide Punkte verbindende gerade Linie ist der Durchschnitt des Äquators mit der Ekliptik, und heißt die Äquinoktial- oder Nachtgleichenlinie, weil für die ganze Erde, wenn sie in diesen beiden Punkten steht, Tag und Nacht einander gleich sind (Einl., § 11). Die Punkte B und D, wo in dem ersten die Sonne am höchsten über und in dem zweiten am tiefsten unter dem Äquator erscheint, nennt man die Solstitial- oder Wendepunkte, weil in ihnen die Sonne ihre Entfernung vom Äquator am wenigsten ändert und gleichsam einige Tage still zu stehen scheint, um sich dann wieder dem Äquator zuzuwenden.

Wir haben im Vorhergehenden nur die vier vorzüglichsten Punkte der Erdbahn näher betrachtet, wo der Winkel Smp seinen mittlern, größten und kleinsten Wert erreicht. Es ist aber klar, daß die Erde in den Zwischenzeiten allmählich alle Lagen durchstreicht, die zwischen den erwähnten Hauptstellungen liegen, und daß sonach jeder Ort der Erde durch alle Abstufungen seiner Jahreszeiten durchgeht.

§ 34. (Heiße, kalte und gemäßigte Zone der Erde.) Durch die Wende- und Polarkreise wird die Oberfläche der Erde in Teile geschieden, die in vielen Stücken wesentlich von einander abweichen.

Der Teil zu beiden Seiten des Äquators, der sich bis zu den beiden Wendekreisen oder Tropen erstreckt, heißt die heiße oder tropische Zone; zwischen den Wende- und Polarkreisen liegen die beiden gemäßigten Zonen, und die beiden übrigen Räume, die von den zwei Polarkreisen begrenzt werden und den Nord- und Südpol in ihrer Mitte haben, heißen die kalten Zonen. Die Breite der heißen Zone beträgt 47°, und ihre Oberfläche hat 202 Millionen Quadratkilometer. Jede gemäßigte Zone hat 43°, und beide zusammen haben eine Oberfläche von 265 Millionen Quadratkilometer. Die Grenzen der kalten endlich sind von den Polen 23·5° entfernt, und die Oberflächen beider betragen 42·5 Millionen Quadratkilometer: es entfällt also auf die heiße Zone 0·4, auf die beiden gemäßigten 0·5 und auf die beiden kalten 0·1 der Fläche der Erde. Die Bewohner der heißen Zone sehen die Sonne am Mittage des Tages, da die Deklination der Sonne gleich der geographischen Breite ihres Parallelkreises ist, in ihrem Zenithe, und da die Sonne die übrigen Tage des Jahres sich um Mittag nie beträchtlich von dem Zenithe entfernt, so fallen ihre Strahlen stets nahe senkrecht auf die Fläche dieser Zone, daher die höhere Temperatur und die Benennung derselben. In dieser Zone sind die Tageslängen nie sehr von denen der Nächte verschieden, da selbst an den Grenzen dieser Zone, unter den Wende-

kreisen, der längste Tag so wie die längste Nacht nur $13^h\ 28^m$ beträgt, während beide unter dem Äquator durch das ganze Jahr einander immer gleich sind. Die Schatten aller senkrechten Gegenstände fallen im Jahre zweimal, zu Mittag, unter sie, und außer diesen beiden Epochen durch einen Teil des Jahres nach Norden und durch den anderen Teil nach Süden, daher die Bewohner dieses Erdgürtels auch *zweischattige* heißen.

In den beiden gemäßigten Zonen erreicht die Sonne selbst im Mittage nie das Zenith des Beobachters und bleibt von demselben um so weiter entfernt, je weiter er von dem Äquator absteht, und damit wächst auch die Ungleichheit der Tage und Nächte, bis endlich an den äußersten Grenzen dieser Zonen, unter den Polarkreisen, der längste Tag so wie die längste Nacht volle 24 Stunden beträgt. In diesen beiden Zonen sind die 4 Jahreszeiten, die in dem heißen Erdgürtel bloß in einem durch eine periodische Regenzeit unterbrochenen Sommer bestehen, deutlich unterschieden, aber immer einander entgegengesetzt, so daß die nördliche Zone Frühling oder Sommer hat, wenn in der südlichen Herbst oder Winter ist. Der durch die Sonne hervorgerufene Schatten aller senkrechten Gegenstände fällt zur Mittagszeit in der nördlichen Zone immer nach Norden und in der südlichen immer nach Süden.

In den kalten Zonen endlich geht die Sonne, wenn sie auf der dieser Zone entgegengesetzten Seite des Äquators steht und dem dieser Seite entsprechenden Wendekreise nahe genug gekommen ist, nicht mehr auf und ebenso, wenn sie sich ein halbes Jahr später dem diese Zone begrenzenden Wendekreise genügend genähert hat, nicht mehr unter. Dann sieht man sie so wie die meisten dort sichtbaren Gestirne in ununterbrochenen Kreisen über dem Horizont herumgehen, die sich immer weniger gegen diesen hin neigen, je mehr man sich dem Pole nähert, bis sie endlich für den Mittelpunkt dieser Zonen, für den Pol selbst, ganz mit dem Horizonte parallel werden. An der äußersten Grenze oder unter dem Polarkreise, dessen Breite $66{\cdot}5^\circ$ ist, dauert der längste Tag im Sommer so wie die längste Nacht im Winter volle 24 Stunden. Näher bei den Polen, unter der Breite von 67·3, 69·7, 73·4, 78·2 und 83·8 Grad, beträgt die größte Länge des Tages oder der Nacht in der angeführten Ordnung 1, 2, 3, 4 und 5 volle Monate, bis endlich unter den beiden Polen selbst die Sonne die eine Hälfte des Jahres über, und die andere unter dem Horizonte bleibt. Da für diese Zonen die Sonne sich nie hoch über den Horizont erhebt und daher die Strahlen derselben immer nur sehr schief auf die Oberfläche der Erde fallen, bleibt die mittlere Temperatur (§ 36) dieser Gegenden stets niedrig und nimmt mit der Annäherung zu den beiden Polen schnell ab, bis die Kälte endlich eine Intensität und Ausdauer erhält, die beinahe allem vegetabilischen und animalischen Leben ein Ende bereitet. Für die wenigen Bewohner dieser mit ewigem Schnee bedeckten Gegenden gehen die Schatten, welche die von der Sonne beschienenen Körper werfen, (wie die Sonne selbst), täglich durch alle Punkte des

Horizontes um sie herum, daher die Bewohner dieser Gegenden *umschattige* genannt werden.

§ 35. (Klimate der Alten.) Die älteren Geographen haben die Oberfläche der Erde in mehrere, dem Äquator parallele Zonen geteilt, die sie Klimate nannten und so wählten, daß der längste Tag im Sommer, also auch die längste Nacht im Winter, am Ende jeder Zone immer um eine halbe Stunde größer ist als im Anfange derselben. Die folgende Tafel giebt die geographische Breite der von dem Äquator entfernteren Zonengrenze und die größte Länge des Tages oder der Nacht an dieser Grenze für alle Klimate zwischen dem Äquator und den beiden Polarkreisen.

Klima	Breite	Längster Tag	Klima	Breite	Längster Tag
1	8·7°	12·5h	13	60·0°	18·5h
2	17·0	13·0	14	61·3	19·0
3	24·3	13·5	15	62·4	19·5
4	30·8	14·0	16	63·4	20·0
5	36·5	14·5	17	64·2	20·5
6	41·4	15·0	18	64·8	21·0
7	45·5	15·5	19	65·4	21·5
8	49·0	16·0	20	65·8	22·0
9	52·0	16·5	21	66·1	22·5
10	54·5	17·0	22	66·3	23·0
11	56·7	17·5	23	66·4	23·5
12	58·5	18·0	24	66·5	24·0

Wien z. B. hat die Breite 48·2°, liegt also im achten Klima, und sein längster Tag im Sommer so wie seine längste Nacht im Winter beträgt 15·9h oder 15h 54m; die kürzeste Nacht im Sommer so wie der kürzeste Tag im Winter umfassen daher nur 24h — 15h 54m d. h. 8h 6m. Die Stadt Archangel, deren Breite 64·5° beträgt, liegt im achtzehnten Klima, und ihr längster Tag ist 20·7h oder 20h 42m, also auch ihr kürzester Tag im Winter nur 3h 18m. Für den Parallelkreis von 66·4° endlich dauert der längste Tag 23h 30m, und daher auch der kürzeste Tag nur eine halbe Stunde. Das Vorhergehende setzt voraus, daß der Tag erst dann anfange und ende, wenn der *Mittelpunkt* der Sonne durch den Horizont geht. Da aber das Tageslicht schon bei dem Aufgange des obersten Sonnenrandes anfängt, und da überdies dieser Aufgang des obersten Randes durch die Wirkung der Refraktion, von der wir weiter unten (§ 105) sprechen werden, etwas beschleunigt wird, so ist aus diesen beiden Ursachen für alle Punkte der Erde der Tag länger, als er in der vorstehenden Tafel angenommen wurde, und dieser Unterschied ist besonders in den höheren Breiten sehr merklich.

Übrigens richtet sich die eigentliche Temperatur, oder was wir das physische Klima einer Gegend nennen, nicht nur nach ihrer geographischen Breite, sondern sie ist auch, und zwar oft in einem sehr hohen Grade von einer Reihe anderer

Umstände bedingt. So wird die Wärmeentwickelung besonders befördert, wenn die Sonne in der Nähe des Zenithes kulminiert. Der Äquator hat nun um die Mitte des März und September die Sonne im Zenith; aber da sich um diese Jahreszeit die Deklination der Sonne sehr schnell ändert (in einem Tage beinahe um 0·4°), so entfernt sie sich schon in einigen Tagen wieder von demselben. In der Mitte des Juni oder des Dezember hingegen, wo die Sonne den Bewohnern der Wendekreise in ihrem Scheitel erscheint, ändert sie ihre Deklination sehr langsam, daher sie für diese Gegenden durch mehrere Wochen immer in der Nähe des Zenithes bleibt. Deshalb ist auch in der That die Temperatur vieler dieser Gegenden beträchtlich höher als die des Äquators. Überhaupt aber wird die Wärme der heißen Zone durch die beinahe immer gleich langen Nächte wieder abgekühlt, und dies ist eine zweite Ursache, warum manche Gegenden der höheren gemäßigten Zonen zur Zeit ihres Sommers eine beträchtlich höhere Temperatur haben, als selbst die heiße Zone. So steigt in der nördlichen Breite von 60° im Juli vermöge der langen Tage die Hitze im Schatten oft bis nahe an 40° C., im siebzigsten Breitengrade macht sie öfter das Pech der Schiffe flüssig, und selbst im achtzigsten Grade vermag sie noch den tief gefrorenen Boden aufzutauen und die ihm anvertrauten Pflanzen durch eine Wirkung, die der unserer Treibhäuser ähnelt, zur Reife zu bringen.

Außerdem sind auch lokale Einflüsse von hervorragender Bedeutung, wie namentlich die Nähe großer Wassermassen, besonders die des Meeres mit seinen kalten und warmen Strömungen, ferner die Höhe des Ortes über der Meeresfläche, die Umgebung desselben, Berge und Wälder, endlich auch die Konstitution des Bodens selbst. Es hat daher die oben erwähnte Einteilung der Erde in die Klimate der Alten gar keine praktische Bedeutung, ebenso wenig als der Versuch von Halley, Lambert u. a., die Erwärmung der verschiedenen Gegenden der Erde bloß als eine Funktion der verschiedenen Mittagshöhen der Sonne und ihres Verweilens über dem Horizonte darstellen zu wollen.

§ 36. (Schneegrenze und Isothermen.) Eine der vorzüglichsten auf die Temperatur eines Ortes einwirkenden lokalen Bedingungen ist die Höhe desselben über der Meeresfläche. So hängt in den Tropenländern die Wärme der Orte fast bloß von ihrer Höhe ab, indem man z. B. von dem Rio Guayaquil bis auf den Gipfel des Chimborasso alle Klimate von der Tropenregion bis zur Polarzone durchwandern kann. Ebenso bekannt ist es, daß sich über jedem einzelnen Orte der Erde in der Atmosphäre ein Punkt befindet, wo selbst in der Mitte des Sommers Eis und Schnee nicht mehr auftauen. Eine durch alle diese Punkte über der Erde gezogene Fläche heißt die Schneegrenze. Nach Humboldt ist die Höhe der Schneegrenze über der Oberfläche der Erde in der nördlichen Hemisphäre

in der Breite	0°	. .	4800 m
=	23	. .	4600 =

in der Breite	30°	. .	4400 m
=	35	. .	3600 =
=	40	. .	3200 =
=	45	. .	2750 =
=	62	. .	1670 =
=	66	. .	1300 =
=	70	. .	1100 =

Die Schneegrenze liegt also unter dem Äquator am höchsten und senkt sich von da gegen die Pole immer tiefer zur Erde, bis sie endlich unter den Polen selbst mit der Meeresfläche zusammenfällt. Auf der südlichen Hemisphäre liegt sie durchaus beträchtlich tiefer als auf der nördlichen.

Wenn man die im Laufe eines oder mehrerer Jahre täglich zu bestimmten Stunden beobachteten Thermometerstände addiert und ihre Summe durch die Anzahl der Beobachtungen dividiert, so erhält man die sogenannte mittlere Temperatur des Beobachtungsortes. Diese ist z. B. für Cumana 27·9° C., Batavia 26·9, Kairo 22·5, Neapel 18·0, Mailand 13·3, Paris 11·0, Wien 10·0, London 10·5, Berlin 8·4, Stockholm 6·1, Petersburg 3·2, Nordkap 0·1° C.

Verbindet man auf einer Karte alle die Orte, welche dieselbe mittlere Temperatur haben, durch eine krumme Linie, so erhält man die sogenannten isothermischen Linien, und man findet, daß diese Linien in der heißen Zone dem Äquator nahe parallel laufen, aber dann mit den wachsenden Breiten immer unregelmäßiger werden, doch so, daß sie sich alle am meisten gegen den Nordpol erheben, östlich in der Nähe des Meridians, der durch die Mitte von Deutschland geht, und westlich in einem durch die Westküste Amerikas gehenden Meridian, während sie wieder am meisten gegen den Äquator herabsteigen in den beiden Meridianen, die durch die Mitte von China und durch die Ostküste von Nordmerika gehen.

§ 37. (Erscheinungen für eine größere oder kleinere Schiefe der Ekliptik.) Alle diese und noch viele andere Erscheinungen, die wir auf der Oberfläche der Erde bemerken, sind eine Folge der Jahreszeiten, und durch diese eine mittelbare Folge der schiefen Stellung der Erdachse gegen die Achse der Ekliptik, mit anderen Worten eine Folge der Schiefe der Ekliptik (Einl., § 11), die jetzt nahe 23·5° beträgt, und würden sich daher mit dieser ändern.

Die Erscheinungen, welche ein Verschwinden der Schiefe der Ekliptik mit sich bringen würde, haben wir bereits oben (§ 32) besprochen: wäre die Schiefe aber größer als jetzt, etwa 45°, so würde die heiße Zone vom Äquator zu beiden Seiten desselben bis zu den Parallelkreisen von 45° und die beiden kalten Zonen würden von 45°—90° oder bis zu den Polen gehen, und es würde in der obigen Bedeutung des Wortes keine gemäßigte Zone mehr geben.

Betrüge aber die Schiefe der Ekliptik 90°, oder stände der Äquator auf der Ebene der Erdbahn senkrecht, dann würden alle drei Zonen von dem Äquator

bis zu den Polen reichen, indem jeder Punkt der Erde, selbst die beiden Pole nicht ausgenommen, die Sonne zweimal in seinem Zenithe sehen, und es für jeden eine Zeit des Jahres geben würde, wo ihm die Sonne durch mehrere Tage des Jahres nicht auf- oder nicht untergeht. Es müßte daher jede Gegend der Erde einen Teil des Jahres zu der kalten, einen anderen zu der gemäßigten, und einen dritten zu der heißen Zone gezählt werden.

Mit unseren Augen betrachtet, würde daher jede größere oder kleinere Schiefe der Ekliptik zweifellos auf sämtliche Bewohner der Erde äußerst nachteilige Wirkungen ausüben, so daß wir nicht umhin können, die eben bestehende als die zweckmäßigste zu erklären. Ob sie dies aber auch an und für sich sei, ist eine andere Frage. Wir dürfen nämlich nicht außer acht lassen, daß sich das ganze Leben unserer Erde im Laufe der Zeit unserer Schiefe der Ekliptik angepaßt, oder richtiger gesagt, ihr entsprechend ausgebildet hat, und uns nur deshalb eine andere unzweckmäßig scheint. Eine solche haben z. B. wahrscheinlich die beiden äußersten Planeten unseres Sonnensystemes Uranus und Neptun, indem vermutlich ihr Äquator nahe senkrecht auf ihrer Ekliptik steht. Haben wir aber deshalb ein Recht, den dortigen Bewohnern Freude an ihrem Dasein abzusprechen, weil sie unter Verhältnissen leben, die *uns* unleidlich erscheinen?

Kapitel V.

Parallaxen und Entfernungen der Gestirne von der Erde.

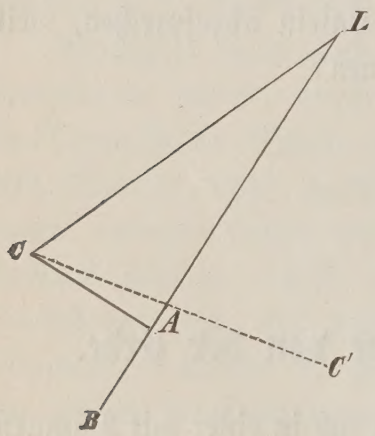
§ 38. (Scheinbare Bewegung der Gegenstände.) Wenn man sich in einer mit Bäumen oder Gebäuden besetzten und in weiter Ferne von Bergen begrenzten Ebene nach irgend einer Richtung vorwärts bewegt, so scheinen die uns näheren Gegenstände sich in Beziehung auf jene fernen Berge rückwärts zu bewegen oder sie scheinen südlich hinter uns zu rücken, wenn wir selbst gegen Norden gehen, und zwar desto schneller, je näher sie uns stehen, während jene fernen Berge zwar auch, aber nur sehr langsam zurückweichen. Ebenso werden uns diejenigen Bäume, die vor uns gegen Norden stehen, immer weiter auseinander zu rücken scheinen, je weiter wir selbst gegen Norden vorgehen oder je näher wir ihnen kommen, während diejenigen, die hinter uns im Süden stehen, immer näher aneinanderrücken, je weiter wir uns von ihnen entfernen. Aus dieser Ursache erscheinen uns auch die zwei Reihen einer Allee, obschon sie einander ganz parallel sind, doch immer desto näher aneinander zu rücken, je weiter sie von uns entfernt sind.

Dasselbe, was hier von den Bäumen einer Gegend gesagt wurde, muß nun auch von den Sternen des Himmels gelten, wenn sie nicht etwa so weit von uns entfernt sind, daß alle Veränderungen unseres Ortes, die wir auf oder auch mit

der Erde machen können, gegen diejenigen Abstände, welche uns von ihnen trennen, für nichts zu achten sein sollten, wo wir dann die Verrückung dieser Gestirne ebensowenig bemerken würden, wie die eines mehrere Kilometer von uns entfernten Berges, wenn wir ihn aus dem einen oder aus dem andern Fenster unserer Stube betrachten. In der That haben wir auch bereits (§ 30) gesehen, daß sich diese Veränderung bei den Planeten zeigt, und wir haben eben daraus eine beinahe an Überzeugung grenzende Wahrscheinlichkeit der Bewegung der Erde abgeleitet. Allein sollte sich diese Bewegung nicht ebenso gut auch an den Fixsternen erkennen lassen?

§ 39. (Bestimmung unzugänglicher Punkte und Linien auf der Oberfläche der Erde.) Das Verfahren, dessen sich die Astronomen bedienen, die Distanzen der Gestirne von der Erde zu finden, ist dasselbe, welches unsere Geodäten und Feldmesser bei ihren terrestrischen Vermessungen anwenden, und beide Methoden sind auf dieselben einfachen Sätze der Geometrie gegründet, durch welche man in einem Dreiecke aus den durch Beobachtung oder unmittelbare Messung bekannten Seiten und Winkeln die übrigen Teile des Dreiecks findet.

Fig 11.



I. Sei z. B. ein Gegenstand L (Fig. 11) auf dem Felde gegeben, zu welchem ein Beobachter, der sich in der Gegend der Linie CC' aufhält, nicht kommen kann, weil er etwa durch einen Fluß oder einen unzugänglichen Sumpf davon getrennt ist. Wenn er dessen ungeachtet die Entfernung desselben bestimmen will, so darf er nur in irgend einer Richtung BL die durch den Punkt L geht, einen Punkt A so wählen, daß CA oder die Richtung von C gegen A auf BL senkrecht steht. Mißt er dann die Länge dieser Linie AC mit dem Maßstabe oder mit der Meßkette, und mißt er noch an dem Endpunkte C dieser Linie mit irgend einem Winkelmesser den Winkel LCA, welchen der Gegenstand L mit dem Punkte A in dem Auge C des Beobachters macht, so sind in dem bei A rechtwinkligen Dreiecke die Seite AC und der Winkel LCA bekannt, woraus sich dann sofort, durch eine sehr einfache trigonometrische Rechnung, auch die Seite AL oder CL, das heißt die gesuchte Entfernung des Gegenstandes L von dem Punkte A oder von dem Beobachter in C finden läßt. Es ist nämlich die Seite:

$$AL = AC \times \text{Tang. } C$$
$$CL = AC : \cos. C$$

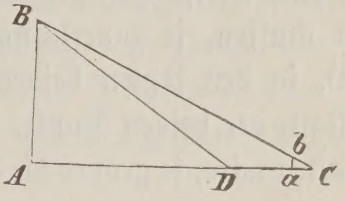
Gesetzt man hätte die Linie $CA = 100$ m und den Winkel $C = 70^0$ gemessen, so wird man $LA = 274{\cdot}75$ m und $LC = 292{\cdot}38$ m finden.

Will man auch diese kleinen Rechnungen vermeiden, so kann man das oben (§ 23) auseinandergesetzte graphische Verfahren anwenden, und sich auf einem Blatte Papier ein verjüngtes Dreieck zeichnen, in welchem die Seite AC etwa

10 cm genommen wird. Errichtet man nun auf dem einen Endpunkte A dieser Linie eine senkrechte auf dieselbe, und setzt man an dem anderen Endpunkte C mittelst eines Winkelmessers einen Winkel von 70° an, so erhält man durch den Durchschnitt dieser beiden Linien in L das verjüngte Dreieck ACL, in welchem man mittelst eines Maßstabes als Länge der Seite AL 27·48 und der Seite LC: 29·24 cm finden wird. Da nun das Dreieck im Verhältnisse von 1 cm zu 10 m verjüngt ist, werden die Seiten LA und LC im großen Dreiecke wie oben sein: 274·8 m und 292·4 m.

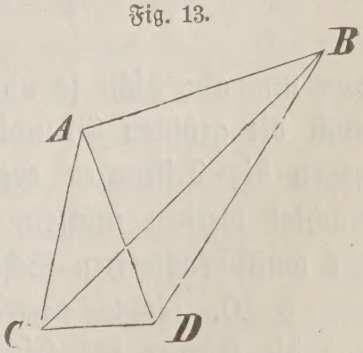
II. Um ebenso die Höhe der Spitze B eines senkrechten Turmes AB (Fig. 12) über dem Horizonte AC zu finden, messe man die horizontale Linie AC von dem Fußpunkte A des Turmes bis zu irgend einem willkürlichen Punkte C und in diesem letzten Punkte den Winkel ACB. Dann ist die gesuchte Höhe AB = AC × Tang. ACB. Ist z. B. AC = 20 m, und ACB = 26°, so hat man für die gesuchte Höhe AB = 9·75 m. Dasselbe könnte man auch wie oben durch Zeichen und Abmessen eines verjüngten Dreieckes finden.

Fig. 12.



Dies setzt voraus, daß man von C bis zu dem Fußpunkte A des Turmes kommen kann, um die Länge der Linie AC oder um den Schatten des Turmes zu messen. Wenn dies aber nicht angeht und der Beobachter z. B. durch einen Fluß von dem Turme getrennt ist, so wird er von dem Punkte C aus in der Richtung nach dem Fußpunkte A eine gerade Linie CD als Basis oder Standlinie und an ihren beiden Endpunkten C und D die Winkel ACB und ADB messen. Auf diese Weise wird er in den Stand gesetzt, das zu BCD gehörige verjüngte Dreieck zu konstruieren und dadurch die Länge der Linie BC zu finden. Kennt er aber BC und den anliegenden Winkel ACB, so wird er wie früher das verjüngte in a rechtwinklige Dreieck abC konstruieren und daraus die Seite ab, also auch die gesuchte Höhe AB des Turmes finden.

Fig. 13.



III. Bestimmen wir nun noch die horizontale Distanz AB (Fig. 13) zweier Punkte A und B, zu deren keinem man unmittelbar mit dem Maßstabe gelangen kann.

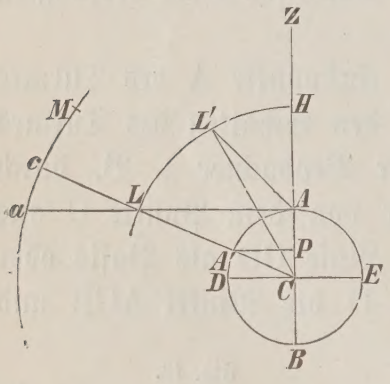
Zu diesem Zwecke wird man in derselben horizontalen Ebene, in welcher die Linie AB liegt, die Länge irgend einer willkürlichen Standlinie CD mit einer Meßkette und überdies, an den beiden Endpunkten C und D dieser Basis, die vier Winkel ACD, BCD, BDC, ADC mit dem Winkelmesser bestimmen.

Dies vorausgesetzt, kann man auf der Ebene des Papiers die verjüngten Dreiecke ACD und BCD verzeichnen, da man in ihnen zwei Winkel und die

ihnen anliegende Seite CD kennt. Durch diese Konstruktion sind aber auch die beiden Punkte A und B in der Ebene der Tafel gegeben, deren Distanz AB man daher nur mit dem zur Konstruktion der Basis CD gebrauchten Maßstabe zu messen braucht, um sofort den gesuchten gegenseitigen Abstand der beiden Punkte A und B auf dem Felde zu erhalten.

IV. Das Vorhergehende wird mehr als hinreichen, uns von den Messungen der Distanzen solcher Körper, die uns selbst ganz unzugänglich sind, einen deutlichen Begriff zu geben. Wir bemerken nur noch, daß die Bestimmungen dieser Distanzen, da sie nicht durch unmittelbare Messungen, sondern erst durch Rechnungen oder, was im Grunde dasselbe ist, durch graphische Verzeichnungen, die auf jene Messungen gegründet sind, erhalten werden, im allgemeinen desto genauer sein müssen, je zuverlässiger jene vorhergegangenen Messungen sind, und daß man z. B. in den letzten beiden Aufgaben die Höhe des Turmes AB (Fig. 12) oder die Distanz der beiden Punkte A und B (Fig. 13) mit einer um so größeren Genauigkeit erhalten wird, je größer die den beiden erwähnten Verfahren zu Grunde liegende Basis CD ist. Wenn nämlich diese Grundlinie CD in Beziehung auf die Distanzen AC und BD sehr klein ist, so werden auch die in den Endpunkten C und D gemessenen Winkel nur sehr wenig von einander verschieden sein, und dann wird der geringste, oft ganz unvermeidliche Fehler, den man entweder in der Messung dieser Grundlinie oder auch in der Beobachtung jener Winkel begangen hat, schon einen sehr nachteiligen Einfluß auf die daraus abgeleitete Größe AB haben. In der Geodäsie hängt die Wahl der Lage und der Größe dieser Standlinie CD meistens von uns ab; nicht so aber ist es in der Astronomie, weil es ja möglich ist, daß auch die größten Grundlinien, die wir auf der Erde selbst noch ziehen können, gegen die Distanzen der meisten Himmelskörper beinahe als verschwindend betrachtet werden müssen, in welchen Fällen die Distanzen dann nicht mehr mit der wünschenswerten Schärfe bestimmt werden können.

Fig. 14.



§ 40. (Tägliche Parallaxe der Gestirne.) Um zu zeigen, wie man das Vorhergehende auf die Körper des Himmels anwenden kann, sei C (Fig. 14) der Mittelpunkt der Erde, und in A ein Beobachter, der ein Gestirn L eben aufgehen sieht, so daß die Gerade LA dessen Horizont bezeichnet, und der Winkel LAC ein rechter ist. Verlängert man die Gesichtslinie AL des Beobachters bis an die hier als unendlich weit vorausgesetzte Sphäre des Himmels, so wird er das Gestirn L bei dem Sterne a erblicken, während ein Auge im Mittelpunkte C der Erde dasselbe in der Verlängerung der Geraden CL, oder beim Sterne c sehen würde.

Der Winkel, welchen die beiden Linien Aa und Cc im Punkte L bilden, heißt die Horizontal-Parallaxe des Gestirnes, die wir mit P bezeichnen wollen.

Sie ist übrigens nichts anders, als der Winkel, unter welchem, vom Centrum des Gestirnes aus gesehen, der Halbmesser CA der Erde erscheint, wie man ohne Mühe einsieht, wenn man sich das Auge eines Beobachters in den Punkt L versetzt denkt. Kennt man die Horizontalparallaxe P eines Gestirnes, so bietet es keine weiteren Schwierigkeiten dar, daraus die Entfernung desselben vom Mittelpunkte der Erde abzuleiten, da dann in dem bei A rechtwinkeligen Dreiecke ACL die Seite AC als Halbmesser der Erde, und der Winkel an L gegeben sind: man kann daher dieses Dreieck nach den Vorschriften der ebenen Trigonometrie oder auch nach dem schon wiederholt erwähnten graphischen Verfahren auflösen. Man erkennt nebenbei bemerkt auch sofort, daß die Ermittelung der Entfernung eines Gestirnes auf die erste im vorigen Paragraph behandelte Aufgabe zurückführt. Denn wenn man in dem dort (Fig. 11) ebenso wie hier mit ACL bezeichneten Dreiecke C den Mittelpunkt, AC den Halbmesser der Erde, A den Beobachter und L das Gestirn sein läßt, so ist jetzt CL dessen Entfernung vom Centrum der Erde, daher:

$$CL = AC : \cos(90 - P) = AC : \sin P$$

indem die Winkel eines ebenen Dreieckes zusammen stets 180^0 betragen, also der dortige Winkel an C nämlich: $LCA = 90^0 - CLA = 90 - P$ ist.

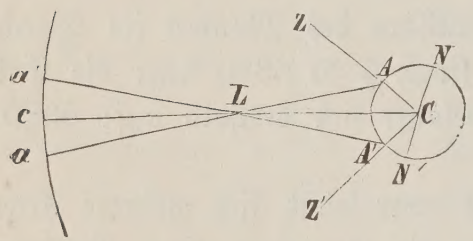
So beträgt beispielsweise die Horizontalparallaxe des Mondes im Durchschnitte etwa 57′ und der Halbmesser der Erde (nach § 5) 6380 km: die Entfernung desselben vom Mittelpunkt der Erde beläuft sich deshalb auf: $6380 : \sin 57' = 385\,000$ km.

§ 41. (Bestimmung der täglichen Parallaxe.) Es ist zwar leicht, sich mehrere Arten von Beobachtungen vorzustellen, durch die man die Parallaxe eines Gestirnes finden kann: wir werden jedoch bei den meisten dieser Methoden wieder auf das stoßen, dem wir schon einmal begegneten (§ 15), nämlich, daß sie wohl theoretisch ganz richtig, praktisch aber unausführbar sind. So wäre es entschieden das einfachste, wenn man von zwei Orten A′ und A (Fig. 14) aus, für deren einen das Gestirn L gerade im Zenithe (Einl., § 6) steht, während es sich für den anderen A eben im Horizonte befindet, dessen Distanzen Ma und Mc von einem benachbarten Fixsterne M messen könnte. Die Differenz ac dieser scheinbaren Distanzen wäre nämlich bereits die gesuchte Horizontalparallaxe. Wie soll man aber, von allen anderen Schwierigkeiten abgesehen, diese zwei Orte A′ und A mit der hier nötigen Genauigkeit auffinden?

Schon eher zum Ziele könnte folgender Vorgang führen. Sei C (Fig. 15) der Mittelpunkt und NN′ der Nord- und Südpol der Erde. Messen nun zwei Beobachter A und A′, die sich zu beiden Seiten des Äquators in demselben Meridiane NAA′N′ befinden, für die daher das Gestirn L zu derselben Zeit kulminiert, dessen Zenithdistanzen während seiner Kulmination, nämlich die Winkel LAZ und LA′Z′, welche die Gesichtslinien LA und LA′ mit den verlängerten Erdhalbmessern CA und CA′ bilden, so sind auch die beiden an A und A′

liegenden inneren Winkel des Vierecks LACA' bekannt. Der Winkel ACA' dieses Vierecks ist gleich der Summe der geographischen Breiten (Einl., § 12 und § 13) der beiden Beobachter und daher ebenfalls eine gegebene Größe, wenn, wie hier vorausgesetzt wird, die Breiten der Beobachtungsorte A und A' gegeben sind. Ferner sieht man schon aus dem bloßen Anblicke der Figur, daß in dem Dreiecke ACL die beobachtete Zenithdistanz LAZ der äußere Winkel ist, der bekanntlich den beiden inneren entgegengesetzten ALC und ACL zusammengenommen gleicht, und da dasselbe auch vom Dreiecke A'LC gilt, ist der Winkel ALA' am Gestirne gleich der Summe der beiden Zenithdistanzen, weniger der Summe der beiden geographischen Breiten. Da sonach in dem Vierecke ACA'L alle Winkel und überdies noch die zwei gleichen Seiten AC und A'C als Halbmesser der Erde bekannt sind, kann man es trigonometrisch oder graphisch auflösen, und dadurch zunächst die Entfernungen AL und A'L des Gestirnes von den beiden Beobachtungsorten A und A' und hierauf entweder aus dem Dreiecke ACL oder aus A'CL auch dessen Entfernung CL vom Mittelpunkte der Erde ermitteln.

Fig. 15.



Diese Methode setzt voraus, daß beide Beobachter genau in demselben Meridiane sich befinden, weil sonst die beobachteten Zenithdistanzen nicht mehr gleichzeitig sind, was, wenn das Gestirn wie der Mond oder die Planeten eine eigene Bewegung hat, komplizierte, oft nicht mit der nötigen Sicherheit ausführbare Rechnungen erfordert, um die Beobachtungen auf eine gemeinsame Zeit zu reduzieren.

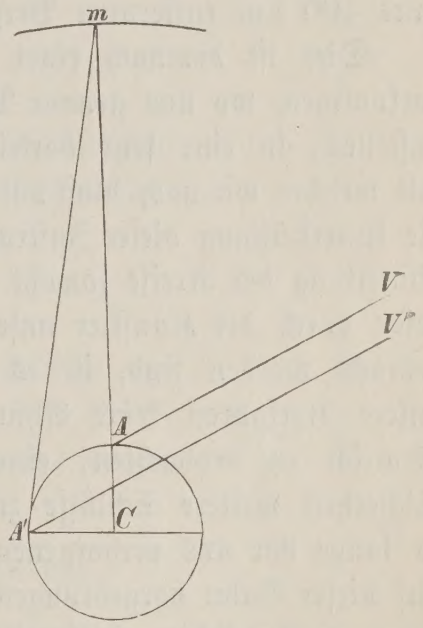
Für die der Erde sehr nahen Gestirne, wie z. B. für den Mond, wird man übrigens diese Korrespondenz eines zweiten Beobachters entbehren und die Parallaxe schon durch einen einzelnen Beobachter bestimmen können, ohne daß dieser genötigt wäre, seine Stelle auf der Oberfläche der Erde zu verlassen. Wenn nämlich der Mond L (Fig. 14) für den Beobachter in A aufgeht, so sieht er ihn bei dem Sterne a, während ihn ein Beobachter im Mittelpunkte C der Erde bei dem Sterne c sehen würde. Allein der Beobachter kennt den Stern noch nicht, bei dem der Mond, von C gesehen, erscheinen würde; also ist ihm auch dieser Bogen ac noch unbekannt. Aber einige Stunden später, da der Mond bei gehöriger Wahl des Beobachtungsortes durch das Zenith Z desselben Beobachters A geht, fallen die beiden Linien LA und LC zusammen, nämlich beide auf die Linie CAZ, und nun sieht der Beobachter in A sowie der in C den Mond bei demselben Sterne c, dessen Distanz von a man daher nur zu messen braucht, um die gesuchte Horizontalparallaxe ac des Mondes zu erhalten. Noch besser wird es sein, den Mond bei seinem Aufgange und bei seinem darauf folgenden Untergange zu beobachten, weil man auf diese Weise die doppelte

Horizontalparallaxe erhält und kleinere Fehler der Beobachtung, die man nie ganz vermeiden kann, einen geringeren Einfluß auf das gesuchte Resultat haben.

So wie übrigens der Winkel CLA, (Fig. 14) wo das Gestirn L im Horizont AL des Beobachters ist, die Horizontalparallaxe des Gestirns heißt, so heißt auch der Winkel CL'A, wo das Gestirn L' von dem Beobachter in A in der Höhe LAL' über dessen Horizonte gesehen wird, die Höhenparallaxe des Gestirns, die immer kleiner wird, je größer die Höhe LAL' des Gestirns ist, bis sie endlich im Zenithe, wo die Höhe gleich 90° wird, völlig verschwindet.

§ 42. (Genauigkeit der Bestimmung der Entfernung eines Himmelskörpers.) Aus der Parallaxe läßt sich die Entfernung eines Gestirnes desto sicherer ermitteln, je größer sie ist, d. h. je kleiner dessen Distanz LC vom Mittelpunkte der Erde ist, weil für sehr weit entfernte Gestirne die Linien AL und A'L, wie man aus Fig. 15 unmittelbar ersieht, einander sehr nahe parallel werden, und dann deren Durchschnittspunkt, der uns ja eben die gesuchte Distanz liefert, schon durch geringe Beobachtungsfehler sehr stark verschoben wird.

Fig. 16.



So wird beispielsweise beim Monde, wenn man seine Horizontalparallaxe um 1″ ändert, oder statt 0° 57′ 0″ annimmt, 0° 57′ 1″ seine Entfernung nur von 385 100 auf 385 000 km, also etwa um ihren 4000sten Teil herabgemindert. Bei der Sonne hingegen, deren Horizontalparallaxe bloß 8·85″ beträgt, bedingt eine Vergrößerung derselben um 1″ auf 9·85″ bereits eine Änderung ihrer Distanz von 148·5 auf 133·4 Millionen km, oder um mehr als ihren 10ten Teil!

Daraus erhellt, wie rasch die Sicherheit der Bestimmung der Entfernung eines Himmelskörpers von der Erde bei einer Verkleinerung der Parallaxen abnimmt, bis sie endlich ganz illusorisch wird. Denn ein Winkel von 1″, d. h. der 1 296 000ste Teil der Peripherie des Kreises ist bereits so klein, daß er nur durch unsere besten Fernrohre unter günstigen Umständen und auch dann nur, wenn man mit gehöriger Umsicht und Vorsicht zu Werke geht, mit einiger Sicherheit gemessen werden kann, da er am Himmel gesehen kaum den sechzigsten Teil des Raumes beträgt, den ein gewöhnliches Menschenhaar in jener Entfernung vom Auge bedeckt, in der es am reinsten und deutlichsten erscheint.

Um diese Sache noch von einer anderen, unserem Zwecke mehr angemessenen Seite darzustellen, bemerken wir, daß, wenn man (Fig. 16) von C aus in der auf Cm senkrechten Richtung, nämlich in jener Richtung bis A' fortschreitet, in der die Ortsveränderung von m aus gesehen, unter dem größten Winkel A'mC erscheint, man in dem Dreiecke A'mC hat:

$$A'C = mA' \times \sin A'mC.$$

Sei nun der Winkel A'mC ein Winkel von 1", d. h. von jener Größe, die wir dem obigen zufolge mit unseren besten Instrumenten eben noch messen können, so ist:

$$A'C = mA' \times \sin 1'' = 0{\cdot}00000485 \times mA'.$$

Mit anderen Worten: wenn wir den Mittelpunkt unseres Instrumentes senkrecht auf die Gesichtslinie um eine Größe verrücken, die nur den 0·00000485 sten d. h. nahe den 200 000 sten Teil der Entfernung eines Gegenstandes von uns ausmacht, so werden wir schon eine Veränderung seines scheinbaren Ortes bemerken. Anderenfalls werden wir daraus den Schluß ziehen, daß der Gegenstand noch weiter von uns entfernt sein muß, als die Verrückung des Instrumentes oder des Auges 200 000 mal genommen beträgt. Darnach würden wir von zwei Fenstern eines Zimmers aus, die 2 m von einander abstehen, bereits eine Ortsveränderung eines 400 km entfernten Berges wahrnehmen!

Dies ist demnach einer von den Fällen, die so häufig in der Astronomie vorkommen, wo uns genaue Messungen, die wir mittelst eines guten Instrumentes anstellen, in eine sehr vorteilhafte, von jener ganz verschiedene Lage versetzen, mit welcher wir uns, bloß auf unsere Sinne angewiesen, begnügen müßten. Durch die Unterstützung dieser Instrumente, durch den vollkommenen Bau und die genaue Einteilung der Kreise sowohl als auch durch die Vorzüglichkeit der Fernrohre, die beide durch die Künstler unserer Zeit zu einem so hohen Grade der Vollendung gebracht worden sind, ist es uns möglich geworden, Gegenstände, von welchen unsere Vorfahren keine Ahnung haben konnten, nicht bloß zu sehen, sondern förmlich zu beobachten, einer genauen Messung zu unterwerfen, darauf mit Sicherheit weitere Schlüsse zu bauen und auf diesem Wege die Natur um ihre so lange vor uns verborgenen Geheimnisse zu befragen. Aber so weit wir auch auf dieser Bahn vorgedrungen sind, und so sehr sich, durch die Vervollkommnung jener mechanischen Hilfsmittel sowohl als auch durch die Vollendung der mathematischen Analyse, dieses wundervollen Instrumentes unseres geistigen Auges, so sehr sich auch durch diese vielfache Hilfe der Kreis unserer Kenntnisse der Natur und ihrer Gesetze erweitert haben mag, — noch liegt ein großer Teil dieses unabsehbaren Feldes unerforscht und in Dunkel gehüllt vor uns, und unseren glücklicheren Nachkommen wird es vorbehalten sein, die uns unübersteiglichen Hindernisse zu besiegen, die Grenzen der Wissenschaft wieder zu erweitern und den in Betracht des noch Unbekannten gewiß nur sehr kleinen Schatz von Kenntnissen, den wir ihnen mit Vertrauen als ihr bestes Erbe hinterlassen, durch Fleiß und Einsicht und durch neue Verbesserungen *ihrer* Hilfsmittel zu vermehren. Wir werden nur zu bald sehen, wo und wie sehr es uns noch fehlt, wieviel uns noch zu wünschen übrig ist, und wie beschränkt unsere Kenntnisse selbst in derjenigen Wissenschaft sind, in welcher der menschliche Geist weiter als in jeder anderen vorgedrungen ist.

§ 43. (Bestimmung der Größe der Gestirne.) Kennt man die Entfernung eines Sternes, so kann man auch die Größe desselben unschwer ermitteln, falls er uns als eine Scheibe von meßbarer Ausdehnung erscheint. Nennen wir nämlich (Fig. 17) den Winkel COR, den eine von unserem Auge O zum Mittelpunkte C der Scheibe gezogene Linie, mit einer zu ihrem Rande R geführten einschließt, welche, wie man aus der Zeichnung sofort ersieht, eine Tangente an den Himmelskörper ist, seinen scheinbaren Halbmesser, und bezeichnen wir ihn mit H, so ist nach den Grundlehren der ebenen Trigonometrie:

$$CR = CO \times \sin H.$$

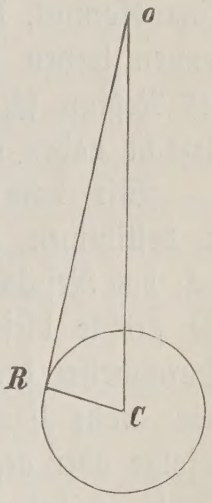
Allein CO ist die Entfernung des Gestirnes von der Erde, also wenn dessen Horizontalparallaxe mit P bezeichnet wird (§ 40)

$$CO = \frac{6380}{\sin P} \text{ km}$$

daher:

$$CR = 6380 \frac{\sin H}{\sin P} \text{ km.}$$

Fig. 17.



Da aber bei so kleinen Winkeln, wie sie hier in Betracht kommen, die Sinusse den betreffenden Bogen gleich gesetzt werden können, kann man einfacher schreiben:

$$CR = 6380 \frac{H}{P}.$$

So ist z. B. in der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne, bei einer Horizontalparallaxe derselben $P = 8{\cdot}85''$, ihr scheinbarer Halbmesser $R = 16' 2'' = 962''$, daher ihr wahrer Halbmesser:

$$CR = 6380 \times \frac{962}{8{\cdot}85} = 6380 \times 108{\cdot}7 = 693\,500 \text{ km.}$$

Der wahre Halbmesser der Sonne ist daher 109mal größer als der Halbmesser der Erde. Da sich nun die Oberflächen der Kugeln wie die Quadrate, und die körperlichen Inhalte derselben wie die Würfel ihrer Halbmesser verhalten, so folgt, daß die Oberfläche der Sonne 11 820mal größer ist als die der Erde, und daß das Volumen der Sonne 1 284 000mal größer ist als das der Erde, oder daß man aus der Sonne über $1\frac{1}{4}$ Millionen solcher Kugeln, wie unsere Erde ist, bilden könnte.

Wendet man dieselben kleinen Berechnungen auf den Mond an, dessen Halbmesser bei seiner mittleren Entfernung der einer Horizontalparallaxe $P = 57' = 3420''$ entspricht, $R = 15' 33'' = 933''$ beträgt, so erhält man:

$$CR = 6380 \times \frac{933}{3420} = 0{\cdot}273 \times 6380 = 1740 \text{ km.}$$

Unser Mond hat deshalb nur etwas mehr als $\frac{1}{4}$ des Halbmessers unserer Erde: diese übertrifft ihn deshalb an Oberfläche um das 13fache, und an Volumen um das 49fache.

§ 44. (Jährliche Parallaxe der Fixsterne.) Wir haben oben (§ 41) Mittel vorgetragen, die Horizontalparallaxe der Gestirne durch Beobachtungen zu bestimmen und sie auch auf den Mond und die Sonne angewendet. — Allein diese Körper können, wenn sie gleich durch Hunderttausende, ja selbst durch Millionen Kilometer von uns getrennt sind, doch immer noch für nahe, wenigstens für so nahe gelten, daß der Halbmesser unserer Erde, in Beziehung auf ihre Distanz, wenigstens für die besten unserer Instrumente nicht mehr als ganz verschwindender Punkt angesehen werden darf. Für Neptun, den entferntesten Planeten unseres Systemes, beträgt aber die Horizontalparallaxe nur mehr 0·3″: sie kann daher nicht mehr mit Sicherheit durch Beobachtungen der Art, wie die früher erklärten, erhalten werden, wie sie denn auch in der That nur aus dem dritten Keppler'schen Gesetze (§ 77) durch Rechnung gewonnen wurde.

Allein dieser Weg ist uns für die Fixsterne verschlossen, da diese sich nicht, wie die Planeten, um die Sonne bewegen; die Parallaxe, oder was auf dasselbe hinauskommt, die Entfernung derselben durch eine der oben angeführten Methoden kennen lernen zu wollen, wäre aber nur vergebliche Mühe, da, wie gesagt, die des Neptun schon nicht mehr auf diese Art ermittelt werden kann, und wir alle Ursache haben anzunehmen, daß die Fixsterne noch viel weiter entfernt sind.

Wir haben oben (§ 42) gesehen, daß bei den Methoden, die Parallaxe zu bestimmen, alles auf die Größe der Basis oder der Grundlinie ankommt, und daß das Resultat im allgemeinen desto genauer sein wird, je größer sie ist. Allein die größte dieser Grundlinien, die wir auf der Erde erhalten können, ist der Durchmesser der Erde, d. h. eine gerade Linie von 12 760 km, eine Größe, die zwar nahe 10mal größer als die Distanz von Wien nach Paris, dem Obigen zufolge aber gegen die Distanz der Fixsterne von uns doch nur als ein unmerklicher Punkt zu betrachten ist. Wir haben also, solange uns keine andere Standlinie als dieser Halbmesser gegeben wird, durchaus kein Mittel, die Entfernung derselben zu bestimmen. Denn ein Gestirn, welches eine Billion Kilometer von uns entfernt ist, würde nur eine Parallaxe von 0·001″ oder eine so geringe Größe haben, daß sie wohl nie für ein menschliches Auge bemerkbar sein wird, welches auch die Verbesserungen sein mögen, deren in der Folgezeit unsere Instrumente sich noch erfreuen können.

Wenn aber die jährliche Bewegung der Erde um die Sonne, die wir in einem der vorhergehenden Kapitel aus den dort angeführten Gründen bereits sehr wahrscheinlich gefunden haben, in der That wahr sein sollte, so würde uns dadurch nicht nur die gewünschte größere Basis, sondern auch zugleich einer der schönsten Beweise für die jährliche Bewegung der Erde selbst gegeben sein. Denn wenn die Erde sich in der That in jedem Jahre in einem Kreise bewegt, dessen Halbmesser gleich der Entfernung derselben von der Sonne oder gleich 150 Millionen Kilometer ist, so werden wir uns auf diesem unseren Weltschiffe am Ende eines jeden halben Jahres am anderen Ende des Durchmessers jenes Kreises, also an

einer Stelle des Himmels befinden, die 300 Millionen Kilometer von dem Punkte entfernt ist, wo sich die Erde am Anfange jenes Semesters befand, und eine so gewaltige Entfernung wird wohl auf die aus diesen beiden Stellungen der Erde sichtbaren Gestirne und ihre Lage am Himmel einen sehr deutlichen Einfluß äußern. Dadurch wäre uns ein ganz anderer Maßstab, die Räume des Universums auszumessen, gegeben, der gegen 24 000 mal größer ist als jener erste, und für den daher auch wohl jene kleinen Winkel, die in Beziehung auf den Halbmesser der Erde für unsere Sinne gänzlich verschwinden, da sie nun in demselben Verhältnisse vergrößert werden, sich unseren Beobachtungen nicht weiter würden entziehen können.

Es haben daher auch die Astronomen seit Kopernicus, d. h. seit ihnen diese Bewegung der Erde bekannt war, sich bemüht, jene Veränderungen des Himmels zu entdecken und durch ihre Beobachtungen über alle Zweifel zu erheben. Und welche Veränderungen haben sie bis vor etwa 50 Jahren gefunden? — Gar keine! Ihre besten Fernrohre, ihre vollkommensten Instrumente, die seit Jahrhunderten vereinigten Arbeiten der ausgezeichnetsten Beobachter, — alles war umsonst; jene mit so vieler Sicherheit erwarteten Veränderungen existierten nicht, und das uns umgebende unübersehbare Heer von Sternen zeigte durchaus denselben Anblick, man mochte es am Anfange oder am Ende dieses 300 Millionen Kilometer langen Weges betrachten. Alle diese mit so viel Aufwand von Zeit und Mühe angestellten Beobachtungen der Astronomen glichen den Bemühungen einer Milbe, die den Gipfel eines entfernten Gebirges zuerst von dieser und dann von der anderen Seite eines Hirsekorns betrachtet.

Und was sollte man aus dem Mißlingen aller dieser Arbeiten schließen? Eins von beiden: entweder ist es nicht wahr, daß die Erde sich um die Sonne bewegt, und dann fallen jene nur geträumten Veränderungen des gestirnten Himmels von selbst weg; oder aber, die Distanz der Fixsterne von uns ist so ungeheuer, daß selbst die Entfernung von 300 Millionen Kilometer nur wie ein unmerklicher Punkt gegen dieselbe verschwindet.

Das erste konnte man, von allem Anderen, was dagegen spricht, abgesehen, schon lange nicht mehr annehmen, da, wie wir im folgenden Kapitel sehen werden, Bradley bereits um die Mitte des vorigen Jahrhunderts beim Suchen nach der Parallaxe der Fixsterne, zwar nicht diese, wohl aber dafür einen anderen direkten Beweis für die Bewegung der Erde um die Sonne aufgefunden hatte. Es blieb daher nur die letzte Alternative übrig. Da gelang es, als man schon an einem Erfolge weiterer Bemühungen in dieser Richtung zu verzweifeln anfing, zwischen 1835 und 1840 fast gleichzeitig W. Bessel in Königsberg, W. Struve in Pulkowa und Th. Henderson am Kap, jedem an einem anderen Sterne, deren solange vergeblich gesuchte Parallaxe zu finden. Diesen ersten Bestimmungen folgten seither noch eine Reihe anderer, so daß wir jetzt bereits von mehr als 20 Fixsternen die Entfernung mit größerer oder geringerer Genauigkeit kennen. Wir können aber hier noch nicht näher auf die hochinteressanten Untersuchungen

eingehen, die sich daran über den Bau und die Ausdehnung des Universums knüpfen lassen, sondern müssen uns dies für später (2. Abteilung, Kap. XV) vorbehalten, möchten zum Schlusse jedoch noch folgende Bemerkung beifügen. Wie man Fig. 14 (S. 96) den Winkel ALC, unter welchem der Halbmesser der Erde von einem Gestirne aus gesehen wird, als tägliche Parallaxe bezeichnet, nennt man analog damit, wenn man jetzt in derselben Figur C den Mittelpunkt der Sonne, und zugleich den Mittelpunkt des Kreises AA'B sein läßt, welchen die Erde jährlich um die Sonne zurücklegt, den Winkel ALC die jährliche Parallaxe des Gestirnes.

Kapitel VI.

Aberration der Fixsterne.

§ 45. (Erste hierher gehörende Erscheinungen.) Wir haben bereits zu Ende des vorhergehenden Kapitels der Beobachtungen erwähnt, die James Bradley zur Auffindung der Parallaxe der Fixsterne angestellt hatte. Er begann sie zu Ende des Jahres 1725 in Verbindung mit Samuel Molyneux, mit welchem er zu Kew vorzüglich den Stern γ im Kopfe des Drachen, der nahe durch das Zenith dieser Stadt geht, während mehrerer Jahre mit großer Aufmersamkeit verfolgte. Sein treffliches Instrument, ein Zenithsektor von Graham, setzte ihn bald in den Stand, Änderungen in der Lage dieses Sterns zu bemerken, die eine Periode hatten, deren Länge gleich der Länge des Jahres war. Da dies zugleich die Periode ist, in welche die jährliche Parallaxe eines Fixsterns, wenn sie überhaupt existiert, eingeschlossen sein muß, so glaubte er auf den ersten Anblick die solang gesuchte Parallaxe endlich gefunden zu haben. Allein eine nähere Betrachtung jener jährlichen Veränderung des Sterns mußte ihn bald von dieser Vermutung zurückbringen, wie aus folgendem ersichtlich ist.

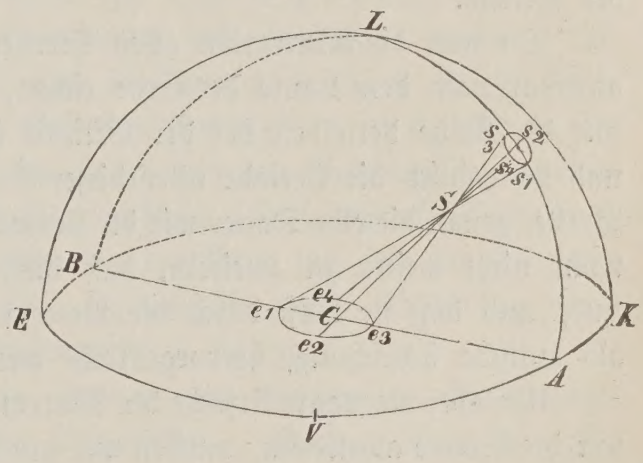
Die Astronomen pflegen von den Sternen, die zu irgend einer Zeit mit der Sonne oder einem anderen Gestirne gleiche Länge haben, zu sagen, sie seien mit der Sonne oder dem andern beweglichen Himmelskörper in Konjunktion. Sind die Längen um 180° verschieden, so sagt man, die Sterne sind in Opposition; beträgt endlich die Differenz der Längen einen rechten Winkel, so sagt man, die Sterne sind in Quadratur mit der Sonne oder dem betreffenden beweglichen Körper. Konjunktion und Opposition pflegt man auch mit einem Worte die Syzygien zu nennen.

Dies vorausgesetzt, können wir die von Bradley aufgefundene Ortsänderung so ausdrücken: „Die Länge von γ im Drachen hat in seiner Konjunktion mit der Sonne den kleinsten, in der Opposition den größten und in den beiden Quadraturen ihren mittlern Wert; die Breite aber hat in den Quadraturen ihren größten und kleinsten und in den beiden Syzygien ihren mittlern Wert.“ Und

ganz demselben Gesetze folgten auch die jährlichen Bewegungen aller andern Sterne, die Bradley nebst γ im Drachen an seinem Sektor beobachtete. Dabei mußte es ihm auffallen, daß der Unterschied der größten und kleinsten Länge in dem Orte des Sterns bei allen Sternen von gleicher Größe war und 40·9″ betrug, während die Veränderungen der Breite immer kleiner wurden, je näher der Stern an der Ekliptik stand, bis endlich für Sterne in der Ekliptik die Breite derselben ganz unveränderlich oder immer gleich Null blieb.

Diese Bewegungen lassen sich aber aus einer Parallaxe der Erdbahn nicht erklären. Man denke sich nämlich (Fig. 18) durch einen Stern S und durch die Erde in allen Punkten ihrer Bahn e_1 e_2 e_3 e_4 gerade Linien gezogen, so werden diese geraden Linien die Oberfläche eines Kegels bilden, dessen Basis die Erdbahn und dessen Spitze der Stern ist. Verlängert man diese geraden Linien über den Stern hinaus bis an die Fläche des Himmels EKL, so werden sie diese Fläche in einer krummen, ellipsenförmigen Linie s_1 s_2 s_3 s_4 schneiden, welche die parallaktischen Orte des Sterns, d. h. alle diejenigen Orte enthält, in welchen während des Laufes des ganzen Jahrs der Stern, von der Erde gesehen, erscheint, während er, von der Sonne gesehen, unveränderlich in dem Mittelpunkte jener Ellipse oder in demjenigen Punkte des Himmels stehen bleibt, wo die von der Sonne nach der Spitze jenes Kegels gezogene gerade Linie verlängert den Himmel trifft. Aus dieser einfachen Konstruktion folgt sofort, daß wir den Stern in Beziehung auf seinen mittlern Ort, d. h. in Beziehung auf den Mittelpunkt seiner Ellipse, immer auf der entgegengesetzten Seite des Himmels von derjenigen sehen werden, welche unsere Erde selbst in ihrer Bahn einnimmt. Wenn sich die Erde in e_1 befindet, so erscheint der Stern in s_1, und hier hat er offenbar seine kleinste Breite; denn EKA stellt die bis an die Himmelssphäre erweiterte Ekliptik, L den Pol der Ekliptik, also der Kreis ALB den Breitenkreis des Sternes vor, und es ist augenscheinlich s_1 derjenige Punkt der ganzen Ellipse s_1 s_2 s_3 s_4, welcher der Ekliptik am nächsten liegt oder die kleinste Breite hat. Es ist aber in dem Augenblicke, wo die Erde in e_1 steht, der Stern in Konjunktion mit der Sonne; denn die Sonne erscheint, von der Erde aus gesehen, im Punkte A, ihre Länge ist also, wenn V den Frühlingspunkt vorstellt, gleich VA, und derselbe Bogen giebt auch die Länge des Sterns. Ebenso sieht man, daß in dem Augenblicke, da die Erde in e_3 sich befindet, der Stern in Opposition mit der Sonne ist und seine größte Breite

Fig. 18.



hat. Die Länge des Sterns hat für diese beiden Stellungen der Erde ihren mittlern Wert. In den Zwischenlagen der Erde in e_2 und e_4, wo der Stern mit der Sonne in Quadratur steht, findet gerade das Gegenteil statt; hier hat die Breite ihren mittleren Wert, während die Länge in e_2 den größten, in e_4 den kleinsten Wert erreicht. Kurz: „Die Länge jedes Sterns hat wegen seiner parallaktischen Bewegungen in den Syzygien ihren mittlern und in den Quadraturen ihren größten und kleinsten Wert, während die Breite in den Quadraturen ihren mittlern, in der Konjunktion den kleinsten und in der Opposition den größten Wert hat," — welches Gesetz demnach in allen seinen Teilen das Gegenteil von dem Gesetze ist, dem die von Bradley entdeckten Veränderungen unterworfen sind. Zwar lassen sich auch diese letzten Veränderungen durch eine Ellipse darstellen, welche der Stern um seinen mittlern Ort, oder um den Mittelpunkt dieser Ellipse, jährlich zurücklegt; aber diese beiden Ellipsen sind ebenso wesentlich von einander verschieden wie die Bewegungen selbst, welche die Sterne in diesen beiden Bahnen befolgen. Bradley nannte daher diese Veränderungen: Aberration der Sterne.

Da nun die Aberration allen Sternen ohne Ausnahme zukommt, da sie sich offenbar nach dem Laufe der Erde richtet, da die Änderung der Breite der Sterne mit der Nähe derselben bei der Ekliptik in unmittelbarem Zusammenhange steht, und da endlich die Periode aller dieser Änderungen, der Länge sowohl als auch der Breite, genau dieselbe Dauer wie die Umlaufszeit der Erde um die Sonne hat, so ist wohl nicht weiter zu zweifeln, daß diese Bewegungen der Sterne nur scheinbar sind, und daß sie bloß durch die Bewegung der Erde um die Sonne, gleichsam als optische Täuschung, hervorgebracht werden.

Um aber die wahre Ursache der Aberration aus der jährlichen Bewegung der Erde um die Sonne abzuleiten, müssen wir zuerst eine andere Betrachtung vorausschicken.

§ 46. (Messung der Geschwindigkeit des Lichtes.) Unter den Planeten, die, gleich unserer Erde, um die Sonne laufen, ist der schon oben erwähnte Jupiter wegen seiner Größe und wegen 4 heller Monde, die ihn umgeben, sehr wichtig; die Entdeckung dieser Monde gleich nach der Erfindung des Fernrohrs bildet eine der interessantesten Epochen in der Geschichte der Astronomie. Indem diese 4 Satelliten um Jupiter ihren Umlauf machen, treten sie fast in jeder Nacht in den Schatten, welchen der große Körper dieses Planeten hinter sich wirft, wo dann die Bewohner des Jupiter das für sie so oft wiederkehrende Schauspiel einer Mondfinsternis haben, an welchem auch wir, durch Hilfe unserer Fernrohre, teilnehmen können.

Diese Finsternisse gaben uns, wie schon Galilei bemerkte, die erste Auflösung des für die Nautik und für die gesamte mathematische Geographie so wichtigen Problems, die Länge des Beobachtungsortes auf der Erde zu finden. Die Beobachtungen der Bewegungen dieser 4 Monde um ihren Hauptplaneten können ferner mit Recht als eine schöne Bestätigung des von Kopernicus aufgestellten Weltsystemes angesehen werden. Denn jener Planet mit seinen Satelliten bildet

gleichsam ein isoliertes System am Himmel, in welchem wir in einem getreuen Abbilde das bereits erwähnte dritte Gesetz Kepler's, wodurch die Distanzen der Planeten nach ihren Umlaufszeiten geregelt werden, und selbst die gegenseitigen Perturbationen oder die Wirkungen dieser Körper untereinander wie in einem Spiegel abgebildet erblicken, und in welchem endlich die Natur, um das Maß des Interesses, das sie in diese kleine Welt von Monden legte, voll zu machen, uns ein Mittel dargeboten hat, die Geschwindigkeit des Lichts zu messen.

Um die erwähnten Verfinsterungen dieser Monde zu geographischen Längenbestimmungen zu benützen, bestimmte man aus lange fortgesetzten Beobachtungen den Umlauf der Satelliten um Jupiter und suchte daraus die Zeiten ihrer Finsternisse zu berechnen. Der dänische Astronom Olaus Römer war der Erste, der um das Jahr 1675, also 50 Jahre vor Bradley's Entdeckung der Aberration, die Bemerkung machte, daß diese Rechnungen zwar zu der Zeit, wo Jupiter mit der Sonne in Quadratur steht, sehr gut, aber dafür desto weniger in den Syzygien mit den Beobachtungen übereinstimmten; daß diese Finsternisse nämlich zur Zeit der Opposition um nahe $8^1/_4{}^m$ früher und in der Konjunktion ebensoviel später, als die Berechnung gab, beobachtet wurden. Ist z. B. Jupiter (Fig. 9 Seite 77) in ♃ und die Sonne in S, so ist die Erde zur Zeit der Opposition in b und zur Zeit der Konjunktion in d, also in der letzten Zeit um die ganze Strecke bSd, das heißt, um den Durchmesser der Erdbahn weiter als in der ersten Zeit von Jupiter entfernt. Diese einfache Bemerkung der verschiedenen Entfernungen des Jupiter von der Erde zur Zeit der Syzygien reichte für den Scharfsinn Römer's hin, sogleich die wahre Erklärung jener Beschleunigung und Verzögerung der Finsternisse zu finden.

In der Konjunktion sind wir von Jupiter um den ganzen Durchmesser der Erdbahn weiter entfernt als in der Opposition. Warum sehen wir also dort alle Finsternisse um $16^1/_2{}^m$ später als hier? — Offenbar, weil das Licht, der Bote, der uns diese Nachricht bringt, dort einen viel größeren Weg als hier zu durchlaufen hat, um bis zur Erde zu gelangen.

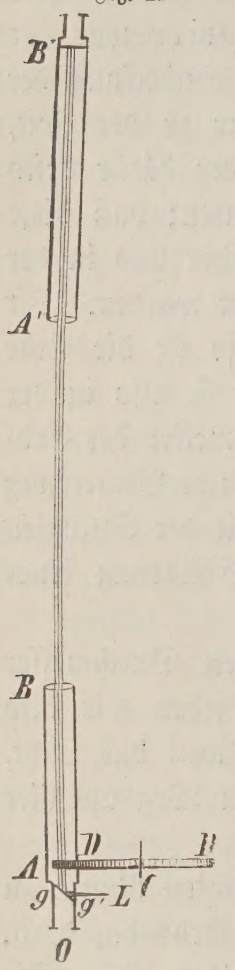
Das Licht braucht also eine gewisse Zeit, um einen bestimmten Raum zu durchlaufen. Und welche Zeit? — Es legt den Durchmesser der Erdbahn, d. h. es legt den Weg von rund 300 Millionen Kilometer in $16^m\ 36^s$ zurück. Die Geschwindigkeit des Lichts in einer Sekunde beträgt daher beiläufig 300 000 km.

Diese Geschwindigkeit des Lichtes übertrifft alle uns sonst mit Sicherheit bekannten Geschwindigkeiten so außerordentlich, daß vielleicht mancher Leser auf den ersten Blick einigen Zweifel in die Richtigkeit dieses Resultates setzen dürfte. Es könnte ja der Verspätung der Finsternisse der Jupitersatelliten wohl auch eine andere Ursache zu Grunde liegen, und es wäre dieses nicht das erste Beispiel in unserer Wissenschaft, wo man eine Erscheinung am Himmel durch eine Hypothese erklärt hätte, die sich allen Umständen jener Erscheinung vollkommen anschloß, von der sich aber später zeigte, daß sie ungeachtet der zufälligen Übereinstimmung

mit dem Himmel doch nichts weiter war als eben eine Hypothese, die deswegen auch der wahren Erklärung das Feld räumen mußte, sobald diese durch unwiderlegliche Beweise sich als solche zu erkennen gab.

Man hat schon vor mehreren Jahrhunderten, noch ehe man durch Römer auf die Verspätung der Verfinsterungen der Jupitertrabanten aufmerksam wurde, Versuche zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichtes angestellt; aber sie führten nie zu einem entscheidenden Resultate. So viel war indeß immerhin aus ihnen zu entnehmen, daß diese Geschwindigkeit eine sehr große sein und alle bekannten Geschwindigkeiten, die einer Kanonenkugel oder des Schalles nicht ausgenommen, viele Male übertreffen müsse. Dies verleitete die Physiker, sogar anzunehmen, daß die Geschwindigkeit des Lichtes unendlich groß sei, oder daß es immer nur eine unmeßbar kurze Zeit, einen bloßen Augenblick brauche, um einen, wenn auch noch so weiten Weg zurückzulegen. Da es bei einem solchen Versuche immer darauf ankommt, einen bestimmten Weg anzunehmen, z. B. eine Länge von einem Kilometer oder dergleichen, und dann die Zeit zu messen, welche das Licht braucht, um diesen zu durchlaufen, die zu ermittelnde Zeit aber jedenfalls eine außerordentlich kleine sein wird, so ist es wohl unumgänglich nötig, eine Vorrichtung zu Hilfe zu ziehen, die uns das Messen der Zeit mittels unserer Sinne erspart oder vielmehr diese Messung selbst übernimmt; denn vermöge der Unvollkommenheit unserer Sinne sind wir zur unmittelbaren Wahrnehmung eines so kurzen Zeitabschnittes ganz unfähig. Eine solche sehr sinnreiche Vorrichtung hat Fizeau in Paris im Jahr 1849 angegeben und auch mittels derselben eine Geschwindigkeit des Lichtes erhalten, die sehr nahe mit der aus astronomischen Beobachtungen abgeleiteten übereinstimmt.

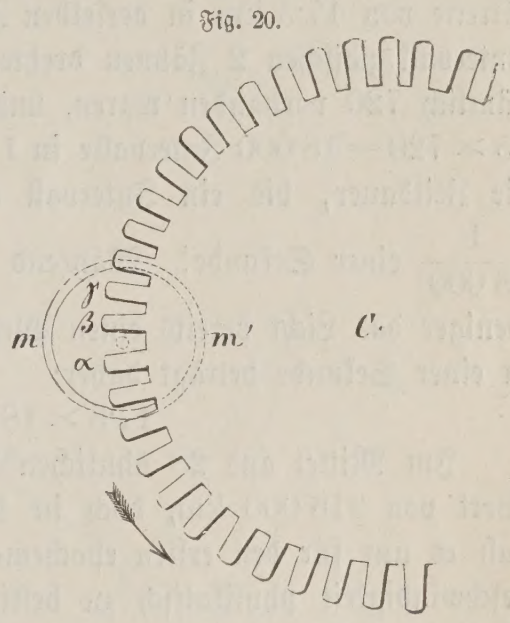
Fig. 19.



Fizeau stellte zwei Fernrohre AB und A'B' (Fig. 19) so auf, daß eines durch das andere deutlich gesehen werden konnte. Zwischen dem Brennpunkte und dem Okulare O des Fernrohrs AB war eine unter 45° gegen die optische Achse des Rohres geneigte vollkommen durchsichtige Glasplatte gg' angebracht, wodurch man in den Stand gesetzt war, das von einer starken Lampe bei L durch eine kleine Öffnung in der Okularröhre bei g' in das Fernrohr kommende Licht gegen das Objektiv B und dann weiter gegen das Fernrohr A'B' hin zu reflektieren. In dem Brennpunkte des letzteren bei B' war ein Spiegel angebracht, dessen Ebene genau senkrecht auf der optischen Achse des Fernrohrs stand, und mittels dessen das von der Platte gg' kommende Licht zurückgeworfen und in derselben Richtung wieder nach gg' und von da in das Auge des Beobachters bei O gelangte. In der Nähe des Fernrohres AB aber etwas seitwärts, wurde eine Scheibe DD' aufgestellt, die, an ihrer Peripherie

mit Zähnen versehen, um eine mit der optischen Achse des Fernrohres parallele Linie C drehbar war und mit Hilfe eines Räderwerkes in eine schnelle Rotation versetzt werden konnte. Man sieht diese Anordnungen deutlicher aus Fig. 20, welche einen auf die optische Achse des Fernrohres AB senkrechten Querschnitt der Scheibe vorstellt, und wo sich diese in ihrer wahren Gestalt zeigt. Der Kreis mm' ist der Durchschnitt des Fernrohres, der kleinere mit mm' koncentrische Kreis stellt den Querschnitt des von der Platte gg' kommenden Lichtkegels vor, und die drehbare Scheibe steht so, daß ihre Zähne bei der Rotation diesen Lichtkegel durchschneiden müssen. Denken wir uns die Scheibe im Sinne des Pfeiles in Rotation versetzt, so wird das von gg' reflektierte Licht nur mit Unterbrechungen gegen das zweite Fernrohr A'B' gelangen. Betrachten wir eine solche Lichtsäule, die eben zwischen den Zähnen α und β durch die Scheibe gegangen ist. Wenn in der Zeit, da sie den Weg bis zum zweiten Fernrohr und zurück vollendet, die Scheibe in ihrer Rotation gerade so weit vorgeschritten ist, daß nun der Zahn β auf den Durchschnitt des Lichtkegels fällt, so wird die Lichtsäule nach ihrer Rückkehr vom zweiten Fernrohre durch den eben vorstehenden Zahn β verhindert, in das Auge des Beobachters zu gelangen. Rotiert aber die Scheibe doppelt so schnell, so wird bis zur Rückkehr der Lichtsäule das Intervall zwischen den Zähnen β und γ an die Stelle des Intervalles $\alpha\beta$ in der Figur getreten sein und somit das Licht ungehindert in das Auge des Beobachters kommen können. Bei einer dreimal so schnellen Rotation wird das Licht durch den Zahn γ aufgehalten u. s. w.

Fig. 20.



Man sieht also, daß man je nach der verschiedenen Geschwindigkeit der Rotation der Scheibe bald Licht ins Auge bei O bekommen wird, bald nicht. Bestimmt man genau die Geschwindigkeit der Scheibe für diejenigen Fälle, wo ein Maximum oder Minimum an Licht stattfindet, so wird man daraus und aus der bekannten Distanz der Fernrohre auf die Geschwindigkeit des Lichtes schließen können. Dieser Versuch gelingt sehr gut, selbst wenn man die Fernrohre in bedeutender Entfernung von einander aufstellt. Man sieht im Fernrohre bei O einen hellen Punkt, der bei wachsender Geschwindigkeit der rotierenden Scheibe von seinem höchsten Glanze durch alle Zwischenstufen bis zum völligen Verschwinden abnimmt, dann aber wieder zunimmt u. s. w. Bei den Verhältnissen, unter welchen das Experiment von Fizeau angestellt wurde, trat das erste Verschwinden ein bei 12·5 Umdrehungen der Scheibe in einer Sekunde, bei einer doppelten

Geschwindigkeit glänzte der Punkt von neuem am hellsten, bei einer dreifachen verschwand er wieder, u. s. w. Das erste Fernrohr war dabei auf der Terrasse eines Hauses in Suresnes, das zweite auf der Höhe des Montmartre aufgestellt in einer Distanz von ungefähr 8633 m. Die Scheibe hatte 720 Zähne und war mit einem Räderwerke verbunden, das durch Gewichte in Bewegung gesetzt wurde, und zugleich so eingerichtet, daß man die Geschwindigkeit der Scheibe jeden Augenblick ablesen konnte.

Sehen wir nun zu, welches Resultat aus diesen Daten des Versuches sich für die Geschwindigkeit des Lichtes ergiebt.

Dem obigen zufolge glänzte bei einer Zahl von $2 \times 12{\cdot}5 = 25$ Umdrehungen der Scheibe in 1^s der Lichtpunkt das erste Mal am hellsten. Es machte daher das Licht den Weg vom Fernrohre AB zu dem A'B' und zurück, d. h. eine Strecke von 17·3 km in derselben Zeit, während welcher sich die Scheibe um ein Intervall zwischen 2 Zähnen drehte. Da nun ebensoviele Intervalle als Zähne, nämlich 720 vorhanden waren, und 25 Umdrehungen in 1^s erfolgten, passierten $25 \times 720 = 18\,000$ Intervalle in 1^s ein und dieselbe Stelle: mit anderen Worten, die Zeitdauer, bis ein Intervall an die Stelle des anderen trat, betrug nur $\frac{1}{18\,000}$ einer Sekunde! Während dieses kurzen Zeitteilchens legte nichts destoweniger das Licht bereits einen Weg von 17·3 km zurück: seine Geschwindigkeit in einer Sekunde beträgt daher:

$$17{\cdot}3 \times 18\,000 = 311\,400 \text{ km}.$$

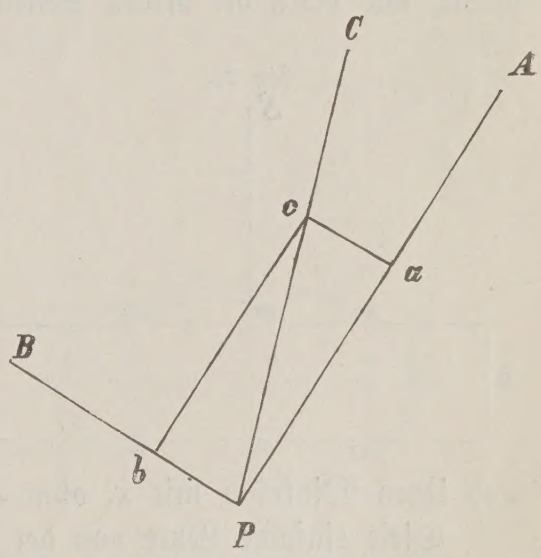
Im Mittel aus 28 ähnlichen Versuchen erhielt Fizeau den etwas größeren Wert von 316 000 km, doch ist die Unsicherheit des Resultates noch so groß, daß es nur für den ersten epochemachenden Nachweis der Möglichkeit, die Lichtgeschwindigkeit physikalisch zu bestimmen, gehalten werden kann. Nach dieser Methode bestimmten Young und Forbes die Lichtgeschwindigkeit im Jahre 1881 von neuem und fanden dafür 301 380 km.

Ein anderer Apparat, der auf der schnellen Drehung eines Spiegels beruht, und von Wheatstone zur Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität angewendet wurde, wurde nach Arago's Vorschlag zuerst von Fizeau und Breguet für die Messung der Geschwindigkeit des Lichtes konstruiert und später von Foucault vervollkommnet. Letzterer fand damit im Jahre 1862 mit anscheinend großer Sicherheit 298 000 km für den Weg des Lichtes in einer Sekunde: ein 1874 von Cornu bestätigtes Resultat, da dessen Beobachtungen nach deren Rediskussion von Helmert und Listing dafür 299 990 km ergaben, während Cornu bei nochmaliger Wiederholung der Experimente in 1878 dafür 304 000 km erhielt. Noch genauere Bestimmungen lieferte aber mit einem ähnlichen Apparate A. Michelson, dessen Versuche in 1879 eine Lichtgeschwindigkeit von 299 940 km und in 1882 eine von 298 500 km lieferten. Gleichzeitig stellte auch Newcomb mit noch erheblich verfeinerten Apparaten Untersuchungen

an, welche für die Lichtgeschwindigkeit 299 860 km ergaben, mit einer Unsicherheit von höchstens 30 km. Man kann daher für alle Fälle hinreichend genau die Lichtgeschwindigkeit in einer Sekunde zu rund 300 000 km annehmen.

Bleiben wir einen Augenblick bei dieser Geschwindigkeit stehen, um sie mit andern uns bekannten zu vergleichen. Ein schnellsegelndes Schiff, das täglich 530 km zurücklegt, würde den Durchmesser der Erdbahn erst in 1550 Jahren durchschiffen, und ein Eisenbahntrain, der in jeder Stunde 90 km durchläuft, zu jenem Wege 380 Jahre brauchen. Der Schall, der jede Sekunde 330·5 m zurücklegt, braucht dazu 29 Jahre, das Licht endlich, benötigt zu demselben Wege von 300 Millionen Kilometern nur $16^1/_2{}^m$ oder nur etwas weniges mehr als eine Viertelstunde. — Eine sogenannte Reise um die Welt oder den Umkreis der Erde von 40 000 km würde ein Wanderer, wenn er auch täglich 75 km machte, erst in 530 Tagen oder nahe in $1^1/_2$ Jahren zurücklegen; jenes Schiff braucht dazu 76 Tage, der Schall 1·4 Tage, das Licht aber bloß den achten Teil einer Sekunde: es schwingt sich also in einer einzigen Sekunde durch eine Entfernung, die den ganzen Umfang der Erde achtmal übertrifft. Und doch würde dasselbe Licht, trotz seiner uns unbegreiflichen Geschwindigkeit, wie wir seinerzeit sehen werden, über *vier* volle Jahre brauchen, um nur von dem nächsten Fixsterne bis zu uns zu gelangen.

Fig. 21.



Doch kehren wir von diesen Betrachtungen wieder zu unserem Gegenstande zurück, und sehen wir, auf welche Weise die Geschwindigkeit des Lichtes mit den Erscheinungen der Aberration in Verbindung steht.

§ 47. (Zusammensetzung und Zerlegung der Geschwindigkeiten.) Wenn auf einen Körper P zwei Kräfte von gegebener Größe (Fig. 21) Pa und Pb unter einem gegebenen Winkel APB wirken, so wird, den einfachsten Lehren der Mechanik zufolge, die Wirkung dieser beiden Kräfte durch eine einzige Kraft Pc ersetzt werden können, welche sowohl ihrer Größe als auch ihrer Richtung nach durch die Diagonale des Parallelogrammes dargestellt wird, dessen Seiten Pa und Pb die Größe und Richtung der beiden gegebenen Seitenkräfte ausdrücken. Da aber bekanntlich die Wirkungen der Kräfte durch die Wege, welche sie die Körper in derselben Zeit beschreiben machen, oder durch die Geschwindigkeiten dieser Körper gemessen werden, so wird man auch die Wege und die Geschwindigkeiten der Körper ebenso zerlegen und zusammensetzen können, wie wir dies eben bei den Kräften selbst gethan haben. Ein Körper also, der in derselben Zeit zugleich durch den Weg Pa und durch

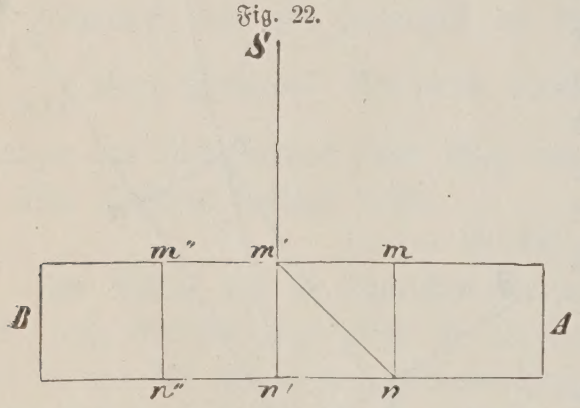
den Weg Pb gehen soll, wird durch den Weg Pc gehen; oder ein Körper, dessen Geschwindigkeit nach der Richtung PA gleich Pa und nach der Richtung PB gleich Pb ist, wird eigentlich die Geschwindigkeit Pc nach der Richtung PC haben.

Dasselbe Parallelogramm, durch dessen Hilfe wir zwei Kräfte oder zwei Geschwindigkeiten auf eine einzige, jenen beiden gleichgeltende gebracht haben, wird uns auch dienen, jede einzelne gegebene Kraft oder Geschwindigkeit Pc auf zwei andere Pa und Pb zu bringen, die, beide zusammengenommen, jener gegebenen einzelnen Kraft gleichgeltend sind. Wir werden zu diesem Zwecke die gegebene Größe Pc als die Diagonale eines Parallelogramms ansehen, auf ihr als Grundlinie ein beliebiges Dreieck Pca errichten und auf der andern Seite von Pc die Linie Pb mit ca und cb mit Pa parallel ziehen, wo dann die Linien Pa und Pb die beiden gesuchten Seitenkräfte vorstellen werden. Im allgemeinen wird es am einfachsten sein, wenn man von allen den Dreiecken Pca, die man über der Basis Pc errichten kann, ein bei a rechtwinkliges Dreieck wählt, wo dann die beiden Seitenkräfte Pa und Pb selbst aufeinander senkrecht stehen werden. Nennt man für diesen Fall r die mittlere, nach der Diagonale Pc des Rechtecks Pabc gerichtete Kraft, und bezeichnet beide Seitenkräfte, die eine Pa durch x, die andere Pb durch y und den Winkel aPc durch a, so hat man die einfachen Ausdrücke

$$r^2 = x^2 + y^2, \quad y = x \operatorname{tg} a$$

woraus man, wenn die Seitenkräfte x, y gegeben sind, die mittlere Kraft r und ihren Winkel a mit x, ohne alle Mühe bestimmen kann.

Fig. 22.



Diese einfache Lehre von der Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte ist durch das ganze Gebiet der Mechanik von so großer Wichtigkeit, daß nur wenige Probleme dieser Wissenschaft gefunden werden, in welchen man sie nicht mit Nutzen anwenden könnte. Unserem Zwecke entsprechend wollen wir sie aber nur durch ein allbekanntes, dem täglichen Leben entnommenes Beispiel erläutern.

Bei ganz ruhigem Wetter fällt der Regen natürlich senkrecht zur Erde herab; weht jedoch ein Wind, so setzt sich dessen horizontale Geschwindigkeit mit der vertikalen des fallenden Tropfens zusammen, und der Regen fällt in desto schieferer Richtung nieder, je stärker der Wind bläst.

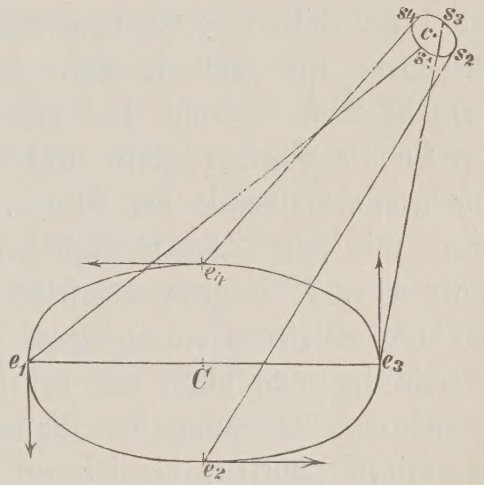
Scheinbar dasselbe tritt aber auch ein, wenn wir einen bei Windstille, also thatsächlich senkrecht, herabströmenden Regen von den Fenstern eines schnellfahrenden Eisenbahnwagens aus betrachten. Beobachten wir nämlich in einem solchen, der (Fig. 22) in der Richtung AB sich bewegt, einen Regentropfen Sm' während seines Falles etwa von der oberen Ecke m' des Fensters an, so scheint er uns nicht in der senkrechten Richtung m'n' herabzukommen. Denn während der Zeit,

welche er dazu braucht, diese Strecke zurückzulegen, ist mittlerweile n nach n' vorgerückt; der Tropfen wird daher den unteren Rand des Fensters nicht mehr in n', sondern in dem an dessen Stelle getretenen Punkte n treffen: es wird uns daher scheinen, als ob er in der Verbindungslinie m'n der beiden Punkte m' und n herabgekommen sei.

Was hier von einem Regentropfen gesagt wurde, gilt selbstverständlich auch von allen übrigen: es wird daher der Regen überhaupt schief herabzufallen scheinen, und zwar so, als ob er um den Winkel mnm' in der Richtung der Bewegung des Trains abgelenkt worden wäre. Es genügt also der Umstand, daß ein Beobachter sich bewegt, zu bewirken, daß in Bewegung befindliche Körper sich nicht so zu bewegen scheinen, wie es wirklich der Fall ist, sondern in einer anderen Richtung, welche von der wahren desto mehr abweicht, je größer die Geschwindigkeit des Beobachters ist.

Verfolgen wir unser Beispiel weiter, und nehmen wir an, daß der Train in einer kreisförmigen Bahn laufe.

Fig. 23.



Dem Obigen zufolge werden die Regentropfen scheinbar in der Richtung der Fahrt abgelenkt: sowie sich daher diese, sagen wir von West über Süd, Ost und Nord wieder nach West zurückwendet, wird es uns im Waggon scheinen, als ob der Regen in einer schiefen, sich ebenfalls allmählich, von West über Süd, Ost und Nord nach West zurückdrehenden Richtung herabströmen würde.

§ 48. (Erklärung der Aberration.) Die Anwendung des eben Vorgetragenen auf die Entdeckung Bradley's ergiebt sich von selbst. Wir brauchen dazu nur den Regen durch den Lichtstrahl, der von den Gestirnen kommt, und den in einem Kreise sich bewegenden Waggon durch unser großes Weltenschiff, die Erde, zu ersetzen, welches innerhalb eines Jahres die Sonne umkreist, um eine vollkommene Analogie zwischen beiden Erscheinungen herzustellen.

Sei also (Fig. 23) $e_1e_2e_3e_4$ die Erdbahn, c der Punkt der Himmelssphäre, in dem irgend ein Stern von der Sonne C aus gesehen wird (vgl. Fig. 18), so würde derselbe, abgesehen von der Parallaxe, die, wie wir ja bereits wissen, ohnehin für so gut wie alle Sterne ganz unmerklich ist, von allen Punkten der Erdbahn aus immer in demselben Punkte c erscheinen, wenn das Licht eine unendlich große Geschwindigkeit besäße. Da dies aber nicht der Fall ist, wird nach dem Vorhergehenden der scheinbare Lichtstrahl im Sinne der Bewegung der Erde um die Sonne, um einen kleinen Winkel vorgeschoben. Daher wird, wenn die Erde in e_1 steht, wo sie sich in der Richtung des Pfeiles nach vorwärts

bewegt, der Stern nicht in c, sondern in s_1 erscheinen. Ebenso sieht man ihn von e_2, e_3, e_4, aus nach der Reihe in s_2, s_3, s_4, woraus man leicht erkennt, daß er im Laufe eines Jahres eine kleine Ellipse zurückgelegt, deren Mittelpunkt der wahre von der Sonne aus gesehene Ort des Sternes ist; die größte Länge fällt in die Opposition, die kleinste in die Konjunktion, sowie die größte und kleinste Breite in die Quadraturen des Sternes mit der Sonne, wie sich aus Betrachtungen, ähnlich den im § 45 angestellten, leicht ergiebt. Für Sterne, die in der Nähe des Poles der Ekliptik liegen, ist die Ellipse sehr nahe kreisförmig; je mehr man gegen die Ekliptik herabgeht, desto geringer werden die Breitenänderungen der Sterne zufolge der Aberration, desto gestreckter werden auch die Ellipsen, die sie beschreiben; für Sterne in der Ekliptik sind die Breitenänderungen verschwindend, daher sich hier die Ellipsen in gerade, zur Ekliptik parallele Linien zusammenziehen.

Wir können aber noch einen Schritt weiter gehen und nach den Formeln des § 47 den Winkel berechnen, den die Richtung des scheinbaren Lichtstrahles mit dem wahren bildet. Die Tangente desselben ist nämlich der Quotient, der aus der Division der Geschwindigkeit der Erde durch die des Lichtes hervorgeht. Die Erde legt nun in ihrer jährlichen Bahn um die Sonne während einer Sekunde 29·8 km und das Licht in derselben Zeit 300 000 km (§ 46) zurück. Der Quotient beider Zahlen ist 0·0000993, und dies ist die Tangente von 20·5″. Die große Halbachse der Ellipse, welche ein Stern vermöge der Aberration um seinen mittleren Ort beschreibt, beläuft sich also auf 20·5″; die ganze Achse beträgt daher 41″, d. i. genau derselbe Winkel, den wir oben (§ 45) unmittelbar aus den beobachteten Erscheinungen der Aberration abgeleitet haben. Die schöne Übereinstimmung dieser aus der bekannten Geschwindigkeit des Lichtes gefundenen scheinbaren Bewegung der Fixsterne mit Bradley's Beobachtungen und den unzähligen anderen, die seitdem an diesen Fixsternen mit den genauesten Instrumenten angestellt worden sind, ist daher nicht bloß ein neuer Beweis für die Richtigkeit von Römer's Entdeckung, sondern auch zugleich ein weiterer direkter Beweis für die jährliche Bewegung der Erde um die Sonne.

In historischer Beziehung bemerkenswert ist es, daß bereits Picard am Polarsterne durch eine Reihe von Jahren Ortsveränderungen beobachtete, die er in seinem Werke Voyage d'Uranibourg ausführlich bespricht, daß er sich aber von denselben keine Rechenschaft zu geben vermochte. Wir jedoch wissen jetzt, daß diese Ortsveränderungen nichts anderes, als die Aberration des Polarsternes waren.

Noch wollen wir bemerken, daß die hier besprochene Erscheinung gewöhnlich Aberration der Fixsterne genannt wird, obschon sie als ausnahmlose Folge des Verhältnisses zwischen den Geschwindigkeiten des Lichtes und der Erde bei allen Himmelskörpern eintritt. Der Umstand aber, daß das Licht überhaupt nicht unendlich schnell, sondern mit einer gewissen meßbaren Geschwindigkeit sich bewegt, hat zur Folge, daß alle Orte, wo wir Gestirne erblicken, eigentlich nicht für die Zeit der Beobachtung, sondern für eine um so

viel frühere Zeit gelten, als das Licht eben brauchte, um von dem Gestirne zu uns zu gelangen. Diese Korrektion, die sogenannte Lichtgleichung, kann ihrer Natur nach nur dort angebracht werden, wo man die Entfernung des Gestirnes kennt, also für den jetzigen Stand der Wissenschaft im allgemeinen nur bei Planeten und Kometen; die Astronomen nannten diese Korrektion deshalb und nennen sie großenteils noch, obschon sehr unpassend, Aberration der Planeten, — unpassend, denn es ist darunter weder eine der eigentlichen Aberration ähnliche Erscheinung zu verstehen, noch kommt sie den Planeten allein zu. Diese Lichtgleichung kombiniert sich mit der Aberration und Parallaxe auf mannigfaltige Weise, worauf wir hier nicht eingehen können und uns begnügen müssen, die Sache überhaupt angedeutet zu haben.

§ 49. (Rückblick.) Betrachten wir zum Schlusse dieses Gegenstandes, indem wir unsern Blick auf die bereits zurückgelegte Bahn wenden, einen Augenblick die Weise, auf welche, und die kleinen Mittel, durch welche die Entdeckungen, deren wir erwähnt haben, gemacht worden sind. — Eine Linie von nur 3 Millimeter, um die das Sekundenpendel in Südamerika kürzer gefunden wurde als in Paris, lehrte uns die tägliche Umdrehung der Erde um ihre Achse, das Verhältnis der Centrifugalkraft derselben zu ihrer Schwere, die Verschiedenheit dieser Schwere auf der Oberfläche der Erde und endlich die Gestalt und die Abplattung derselben an ihren Polen kennen, welche letztere selbst wieder so klein ist, daß sie nur den dreihundertsten Teil des Halbmessers beträgt. Dieses Pendel, das heißt: eine einfache mit einem Gewichte versehene Schnur, gab uns ein Maß, die wahre Größe der Schwere unserer Erde oder den Raum, den frei fallende Körper zurücklegen, mit einer Genauigkeit zu messen, die uns kaum über den hunderttausendsten Teil dieser Größe ungewiß läßt, und lehrte uns zugleich die Wirkungen derselben Schwere auf den Mond, in einer Entfernung von 384 400 km von uns, mit einer noch größeren Schärfe bestimmen. Andere Messungen von scheinbar noch viel geringeren Größen zeigten uns die Entfernung der Sonne von mehr als 148 Millionen Kilometer sowohl als auch die nicht minder erstaunenswürdige Größe dieses Himmelskörpers, dessen Volumen eine und eine Viertel Million mal das unserer Erde übertrifft. Ähnliche kleine Winkel lehrten uns die ungeheuren Distanzen der Fixsterne kennen, sie lehrten uns die unbegreifliche Geschwindigkeit des Lichtes messen und endlich in der Aberrations-Ellipse der Fixsterne an dem Himmelsgewölbe, wie in einem verkleinernden Hohlspiegel, die große Bahn der Erde von nahe 2200 Millionen Kilometer Umfang erkennen, von welchen jene kleine, mit unbewaffnetem Auge nicht einmal sichtbare Ellipse als ein getreues Miniaturgemälde betrachtet werden kann.

Wohl mag es uns solchen Erfolgen gegenüber vergönnt sein, die Astronomie als einen Triumph des menschlichen Geistes, als einen Gegenstand des gerechten Stolzes des Menschen zu preisen, der mit den Augen einer Milbe jenen belebten Bläschen zusieht, von denen Tausende einen Wassertropfen bewohnen und der

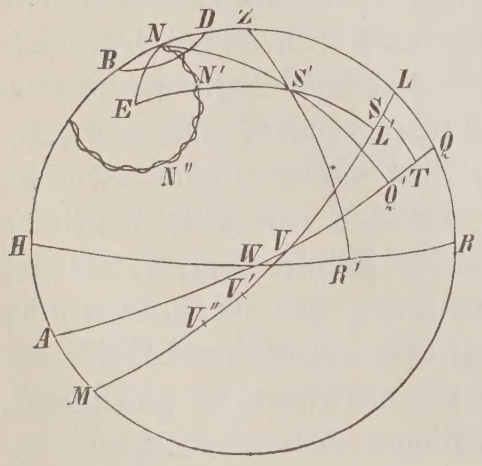
dann, wenn er von diesen Welten im kleinen, die ihn in zahllosen Mengen nach allen Seiten umgeben, seinen Blick aufwärts zu den großen Welten über ihm erhebt, mit den Augen eines Cherubs sich in die ungemessenen Höhen des Himmels schwingt und Räume durchwandert, vor deren Größe selbst die kühnste Einbildungskraft erschrocken zurückbebt.

Kapitel VII.

Präzession und Nutation.

§ 50. (Präzession der Nachtgleichen.) Es war bereits allen Kulturvölkern des Altertums bekannt, daß zwar die Breite der Sterne unverändert bleibe, daß hingegen die Länge derselben langsam zunehme, und zwar, wie sie allgemein annahmen, um einen Grad in einem Jahrhundert. Für den Orient scheint aber erst der bereits oben erwähnte Hipparch, wohl der größte unter den griechischen Astronomen, der gegen das Jahr 140 vor Chr. G. lebte, diese Erscheinung entdeckt oder mindestens allgemein bekannt gemacht zu haben; und da diese Bewegung allen Sternen gemeinschaftlich ist, so schloß er daraus, daß sie ihre Ursache nicht in den Sternen selbst, sondern in dem Frühlingspunkte habe, und daß daher dieser Punkt es sei, der in einem Jahrhundert um die Größe von 1^0 rückwärts oder von Ost nach West, gegen die Ordnung der Zeichen (Einl. § 11), gehe. Da aber dabei die Breite der Sterne unverändert bleibt, so kann auch die Lage der Ekliptik keine Änderung leiden, und daher muß jene Zunahme der Länge der Sterne in einem Rückwärtsgehen des Äquators auf der festen Ebene der Ekliptik gesucht werden. Die genaueren Beobachtungen der Neuzeit haben nun gelehrt, daß man im Altertume die Schnelligkeit dieses Rückwärtsgehens des Äquators auf der Ekliptik, das man Präzession der Nachtgleichen genannt hat, beträchtlich unterschätzte, indem es in einem Jahre 50·2113″, also bereits in $71^1/_2$ Jahren 1^0 beträgt. Überdies wissen wir jetzt, daß auch die Ebene der Ekliptik selbst nicht immer dieselbe Lage am Himmel behält, sondern haben bereits einmal (§ 24) hervorgehoben, daß sie gegenwärtig dem Äquator jährlich um 0·48″ näher tritt. Aber diese eigene Bewegung der Ekliptik ist erstens viel geringer als jene des Äquators, sie entspringt auch zweitens aus einer ganz anderen Quelle, und sie ist endlich zwischen enge Grenzen einge-

Fig. 24.



schlossen, so daß wir sie hier ohne merklichen Fehler ganz außer Betrachtung lassen können. Nehmen wir daher an, daß die Lage der Ekliptik am Himmel unverändert bleibt, so werden wir die Präzession dadurch vorstellen können, daß wir den Äquator VQ (Fig. 24) sich ohne Änderung seiner Neigung gegen die Ekliptik jährlich um 50·2113″ auf derselben nach rückwärts drehen lassen, wodurch der Frühlingspunkt V in der Ekliptik jährlich um dieselbe Größe in der Richtung VM rückwärts gehen und daher die Länge aller Sterne in jedem Jahre um dieselbe Größe wachsen wird.

Wenn aber der Äquator auf der festen Ekliptik sich herumdreht, wird dies auch die Polarare thun, und dadurch der Pol N des Äquators um den festen Pol E der Ekliptik in der Richtung von N gegen N′ einen Kreis beschreiben. Wir können daher jene Veränderung der Länge der Sterne auch durch eine Bewegung des Poles N des Äquators darstellen, der um den festen Pol E der Ekliptik als Mittelpunkt einen Kreis beschreibt, dessen Halbmesser EN gleich der Schiefe der Ekliptik LVQ ist.

§ 51. (Wirkung der Präzession auf den Anblick des Himmels.) Während demnach durch die Präzession die Länge aller Sterne gleichförmig und jährlich um 50·2113″ wächst und dabei die Breite derselben unverändert bleibt, ändert sich die Rektascension sowohl als die Deklination (Einl., § 10) der Sterne, und zwar für jeden Stern auf eine andere Weise. Die Rektascension nimmt zwar ebenfalls im allgemeinen zu, allerdings nicht gleichförmig, indem sie namentlich für Sterne in der Nähe des Poles des Äquators zum Teile sehr rasch wächst, zum Teile aber auch eine längere Zeit hindurch sogar abnimmt. Ein Beispiel für den ersteren Fall bietet uns der Polarstern, dessen Rektascension durch die Präzession gegenwärtig alljährlich um $5^1/_2{}'$, also in einem Jahrhundert um mehr als 9^0 vergrößert wird, während uns gleich sein Nachbar δ im Schweife des kleinen Bären ein Beispiel für den letzteren Fall darbietet, da dessen Rektascension jetzt alljährlich beinahe 5′, also in einem Jahrhundert etwa 8^0 abnimmt.

Die Poldistanz der Sterne nimmt ab für alle Sterne im I. und IV. Quadranten, hingegen zu im II. und III. Quadranten der Rektascension (vergl. § 121) und kann (bei 0^0 und 180^0 AR) in jeder dieser Richtungen jährlich bis auf 20″ geändert werden.

Die Änderung der Poldistanz oder, was dasselbe ist, der Deklination bedingt aber für entfernte Epochen eine wesentliche Änderung im Anblicke des gestirnten Himmels. Sie bewirkt zunächst, daß jetzt viele Sterne am nördlichen Himmel für uns auf- und untergehen, die früher immer über dem Horizonte verweilten. So sagt z. B. Homer (Ilias XVIII, 489) von dem großen Bären, daß er sich „nie im Ocean bade". Homer's Vaterland wird, in welche von den 7 Städten, die sich darum stritten, man es auch setzen mag, nicht viel unter oder über 38^0 nördl. geograph. Breite gehabt haben. Damit ein Stern sich in diesen Gegenden nicht im Ocean bade, d. h. nie untergehe, muß er also wenigstens

52° nördliche Deklination haben. Angenommen nun, man habe zu Homer's Zeiten, wie heute im gewöhnlichen Sprachgebrauche, nur den nördlichsten Teil dieser Konstellation, nämlich den durch die bekannten 7 glänzenden Sterne eingenommenen Raum als Sternbild des großen Bären (siehe unsern Planiglob I) betrachtet, so ist doch heute der Stern η (an der Spitze des Schwanzes) schon so weit vom Pole entfernt (er hat 49° 49′ nördliche Deklination), daß er keineswegs als circumpolar für Griechenland oder Kleinasien gelten kann, gar nicht davon zu sprechen, daß auch der Stern γ (Deklination + 54° 15′) jener Konstellation zu sehr an der Grenze liegt, um dessen beständige Sichtbarkeit so nah am Horizonte als eine allbekannte Sache hinstellen zu können, wie es der Dichter thut. Der große Bär entspricht also wenigstens heutzutage jenem Ausspruche Homer's nicht mehr, und wir können uns die Frage stellen, ob etwa die Präzession hieran Schuld habe. Nehmen wir im Durchschnittswerte der verschiedenen darüber existierenden Hypothesen an, daß Homer 900 v. Chr. gelebt hat, und ziehen wir nebst der oben bereits gegebenen Deklination auch die heutige Rektascension des Sternes η im großen Bären (205° 54′) in Betracht, so finden wir (§ 121) die hundertjährige Präzession in Deklination gleich —30′, somit die Änderung der Abweichung in 2800 Jahren gleich —14° 0′, um welche die Deklination des genannten Sternes zu Homer's Zeiten größer war als jetzt. Dieselbe betrug demnach 63° 49′, und dieser südlichste der 7 schönen Sterne des großen Bären stand somit damals für jene Gegenden allerdings selbst in seiner tiefsten Stellung noch mehr als 11° oder mehr als 20 Vollmondsdurchmesser über dem Horizonte.

Es können aber ebenso durch die Wirkung der Präzession Sterne, die man einst in gewissen Gegenden der Erde wahrnahm, später für dieselben unsichtbar werden. Die berühmte Konstellation des Südlichen Kreuzes (Planiglob II) war vor 5000 Jahren selbst in den nördlicheren Teilen Europas zu sehen, während dieselbe jetzt erst etwa von dem Parallel des alten Luxor an wahrgenommen wird. Dante hat im „Purgatorio" mit den Versen:

Jo mi volsi a man destra, e posi mente
All' altro polo, e vidi quattro stelle
Non viste mai fuorchè alla prima gente,

höchst wahrscheinlich jenes Sternbild gemeint und ist dafür als Prophet ausgerufen worden, da er hier, wie man glaubte, Dinge geahnt, die uns erst viel später durch die großen Entdeckungsreisen des 15ten und 16ten Jahrhundertes bekannt wurden. Der hellste und zugleich südlichste Stern im Kreuze steht nämlich heute bei 185° 16′ Rektascension und 62° 33′ südlicher Deklination, nimmt also (§ 121) während eines Jahrhunderts um 33′ in südlicher Deklination zu und hatte zu Dante's Zeiten (1300 nach Chr. G.) eine südliche Deklination von etwa 59°. Da nun z. B. Alexandrien in der geographischen Breite von 31° 13′ oder unter der Äquatorhöhe von 58° 47′ liegt, somit

schon in dieser Stadt, besonders wenn man die außerordentliche Klarheit des dortigen Himmels und die Wirkung der Refraktion bedenkt, das Südliche Kreuz zu jenen Zeiten sehr wohl bekannt sein konnte, und da Dante notorisch mit orientalischen Reisenden viel verkehrte, so liegt die von A. v. Humboldt geäußerte Vermutung sehr nahe, er habe eben Nachricht gehabt von der Sichtbarkeit jenes glänzenden Sternbildes in südlichen Breiten. Uns scheinen, beiläufig gesagt, die Worte: all' altro polo, sowie die den obigen folgenden Verse:

Oh settentrional vedovo sito,
Poichè privato sei di mirar quelle,

darüber kaum einen Zweifel übrig zu lassen. Ja, wir gehen noch weiter und möchten die Worte: Non viste mai fuorchè alla prima gente dahin deuten, daß Dante aus seiner Bekanntschaft mit der Astronomie der Araber, dieser Konservatoren der naturwissenschaftlichen Bildung des Altertums, einen klaren Begriff von der Präzession der Nachtgleichen geschöpft und hier auf diese Erscheinung angespielt habe.

§ 52. (Polarsterne für verschiedene Epochen.) Die Astronomen pflegen denjenigen unter den größeren Sternen, der dem Nordpole des Äquators am nächsten steht, den Polarstern zu nennen. Sie geben ihm diesen Eigennamen, weil er durch diese seine Stellung am Himmel zu mehreren wichtigen Beobachtungen und Untersuchungen vorzüglich geschickt ist. Jetzt trägt die Benennung der Stern α im kleinen Bären, dessen Rektascension rund 20^0 und dessen Abstand von dem Pole des Äquators $1^0\ 14'$ ist. Dieser Abstand wird in den nächsten Jahrhunderten noch kleiner werden, weil wegen der Präzession der Pol N des Äquators (Fig. 24) sich diesem Sterne noch immer nähert. Im Jahre 2100 aber wird dieser Pol am nächsten bei ihm sein, und dann nur noch $28'$ von ihm abstehen. Nach dieser Zeit wird der Pol N sich wieder von ihm entfernen, um sich anderen Sternen zu nähern, die dann einen größeren Anspruch auf die Benennung des Polarsterns machen werden. Zur Zeit Hipparch's war α kleiner Bär 12^0 von dem Pole N entfernt und verdiente daher damals diesen Namen noch gar nicht. Um diejenigen Sterne zu finden, denen in verschiedenen Epochen der Pol des Äquators am nächsten steht, wird man auf einer Sternkarte um den Pol der Ekliptik einen Kreis mit dem Halbmesser $23^0\ 28'$ ziehen und so die Sterne erkennen, durch welche der Pol des Äquators nach und nach geht. Genauer noch wird man für die verschiedenen Epochen die Halbmesser dieser Kreise dahin verändern, daß sie die Schiefe der Ekliptik für jene Epochen (§ 24) vorstellen. Auf diese Weise findet man, daß gegen das Jahr 2800 v. Chr. der Stern α im Drachen der Polarstern war, und daß im Jahre 4000 nach Chr. der Stern γ Cepheus, dann α Cepheus, später α Schwan oder Deneb, und endlich gegen das Jahr 14000 nach Chr. α Leier oder Wega auf diese Benennung Anspruch machen werden, da dann z. B. der letztere Stern, der jetzt noch 51^0 von dem Weltpole absteht, nur noch 5^0 von ihm entfernt sein wird.

Wenn man die jährliche Präzession von 0·013947° für alle Jahre gleich groß annimmt, so vollenden die Pole des Äquators ihren ganzen Umlauf um die Pole der Ekliptik in 25 800 Jahren, welche Periode einige Chronologen das platonische Jahr genannt haben. Die Dauer dieses Umlaufes ist indes der Natur der Sache nach noch ziemlich unsicher, einerseits weil die Voraussetzung, daß die Präzession ganz unveränderlich sei, nicht ganz richtig ist, andererseits, weil sie überhaupt noch nicht mit der Genauigkeit bekannt ist, um sie mit Sicherheit auf so entfernte Zeiten fortführen zu können.

§ 53. (Zeichen und Sternbilder des Tierkreises.) Zwischen 400 und 100 Jahren v. Chr., d. h. während des Zeitraumes, in dem Eudoxus, Aristyll und Timocharis, sowie Hipparch die ersten Sternkataloge anlegten, befand sich der Frühlingspunkt im Sternbilde des Widder. Durch die Präzession ist er jedoch seither um mehr als 30° zurückgewichen, und liegt jetzt im Sternbilde der Fische. (Einl. § 10). Um jedoch die mit der Astrologie innig verknüpfte frühere Bezeichnung, die Sonne trete beim Beginne des Frühlings in den Widder, beim Beginne des Sommers in den Krebs u. s. w. beibehalten zu können, verfielen die älteren Astronomen auf das Auskunftsmittel, die Ekliptik vom jedesmaligen Frühlingspunkte an, in 12 sogenannte Zeichen von je 30° Länge, deren jedes daher die Sonne im Durchschnitte in einem Monate durchläuft, abzuteilen. Diesen so gebildeten Zeichen gab man nun wieder, und zwar in derselben Reihenfolge, den Namen der Sternbilder des Tierkreises. Es sind deshalb Sternbilder und Zeichen des Tierkreises wohl von einander zu unterscheiden, indem sie sich jetzt nicht mehr decken. So steht, wie bereits erwähnt, der Frühlingspunkt in unseren Tagen in den Fischen, und wird um das Jahr 4000 n. Chr. in die Mitte des Wassermannes, um 6000 in den Kopf des Steinbockes und um 8500 zum Pfeile des Schützen gewandert sein. Wenn wir daher beispielsweise in älteren Schriften lesen, daß der Mond zu einer gewissen Zeit die Länge 10° ♉, oder 10° im Stiere gehabt habe, so heißt dies nicht etwa, daß er im Sternbilde des Stieres stand, sondern daß er damals im Zeichen des Stieres, das bei 30° Länge beginnt, 10° vorgerückt war, mit anderen Worten, daß dessen Länge: $30° + 10° = 40°$ betrug. Übrigens ist diese Zählweise in der letzten Hälfte unseres Jahrhunderts ganz außer Übung gekommen: sie findet sich einem althergebrachten Usus gemäß nur noch in unseren Kalendern, wo sie nebst manchen anderen veralteten Angaben, wie z. B. der Römer Zinszahl u. d. g. noch immer beibehalten wird.

§ 54. (Anwendung der Präzession auf chronologische Untersuchungen.) Wir haben bereits gesehen, daß ältere Nachrichten von dem Zustande des Himmels uns über die Zeit, welcher diese Nachrichten angehören, belehren können. Es wird nicht unangemessen sein, noch einige Beispiele davon aufzuführen.

Ptolemäus erzählt uns in seinem Almagest, daß Eudox, ein Zeitgenosse Plato's, einen der größeren Fixsterne sehr nahe bei dem Pole des Äquators gesehen habe. Da Plato etwa 350 Jahre v. Chr. lebte, so kann dies, wie aus

dem Vorhergehenden folgt, nicht unser gegenwärtiger Polarstern oder α im kleinen Bären gewesen sein, der damals noch sehr weit von dem Pole entfernt war. Betrachtet man den oben erwähnten, von dem Pole des Äquators vermöge der Präzession beschriebenen Kreis etwas genauer, und hält man an dem Wortlaute „sehr nahe" streng fest, so findet man in jener Gegend des Himmels nur einen einzigen Fixstern von bedeutender Größe, auf den dies in der Vorzeit passen könnte. Es ist α im Drachen, dessen Rektascension jetzt 210° 15′ und Deklination 64° 51′ beträgt, von dem aber bereits (§ 52) gesagt wurde, daß er um 2800 v. Chr. dem Pole am nächsten stand, und wie die Rechnung zeigt, damals in der That bloß $^1/_2{}^0$ von demselben entfernt war. Da nun aber diese Epoche gegen 2450 Jahre vor Plato's Zeit fällt, und während dieses langen Zeitraumes α im Drachen sich schon wieder weit vom Pole entfernt hatte, muß man unter der obigen Voraussetzung annehmen, daß Eudoxus in jener Nachricht nicht denjenigen Zustand des Himmels beschrieben habe, wie er zu seiner Zeit war, sondern daß er uns nur eine mehr als 2000 Jahre ältere Sage der Ägypter oder Chaldäer erzählt habe. Nicht lange vor Eudoxus hatte indes β kleiner Bär seine geringste Entfernung vom Pole erreicht, die $5^1/_2{}^0$ beträgt: er stand daher damals dem Pole immerhin so nahe, daß er als ein demselben naher Stern bezeichnet werden kann. Es scheint uns deshalb wahrscheinlicher, daß die oben citierte Stelle sich auf diesen Stern bezieht, und nur der Ausdruck sehr nahe nicht allzu streng genommen werden darf.

Laplace nahm an, daß die Bezeichnung und Benennung der Sternbilder des Tierkreises zu einer Zeit entstanden sei, da der Steinbock, den man immer nur auf den höchsten Spitzen der Felsen erblickt, auch den höchsten Punkt der Ekliptik über dem Äquator eingenommen, d. h. eine Länge von 90° gehabt habe. Dann würde die Wage sehr zweckmäßig in die Frühlingsnachtgleiche gekommen sein, und die meisten übrigen Sternbilder des Tierkreises würden eine auffallende Verbindung mit der Agrikultur und dem Klima von Ägypten zeigen. In unseren Tagen hat jedoch der Steinbock im Mittel eine Länge von 305°, indem er bereits mehr als 30° über den tiefsten Punkt der Ekliptik vorgerückt ist. Die Differenz der Länge von 215° aber, welche diese Annahme voraussetzt, wird von der Präzession erst in 15 000 Jahren beschrieben, und dadurch würde die Gruppierung der Gestirne längs der Ekliptik zu den noch heute üblichen Sternbildern des Tierkreises über 13 000 Jahre vor den Anfang unserer Zeitrechnung zurückfallen. Allein damit scheint unsere ganze Menschengeschichte in direktem Widerspruche zu stehen, und daher jene Ansicht von Laplace nicht zutreffend zu sein. Mehr Wahrscheinlichkeit hingegen beansprucht die vor etwas mehr als einem Dezennium von A. H. Sayce ausgesprochene Ansicht, daß die Bilder des Tierkreises von den Accadiern, den Ureinwohnern Babyloniens, eingeführt worden seien, zu einer Zeit, wo der Frühlingsnachtgleichenpunkt am Anfange des Stieres war. Dieser Punkt hat jetzt eine Länge von etwas mehr als 50° und es

würde danach der Ursprung des Zodiakus etwa 4000 Jahre, d. h. bis etwa 2100 Jahre v. Chr. zurückreichen.

In einigen alten Tempeln fanden sich Tierkreise vor, die man zur Bestimmung des Alters dieser Bauwerke benützen zu können glaubte. Der berühmteste dieser Tierkreise stammt aus den Ruinen der alten Stadt Tentyris (Denderah) in Oberägypten, wo er an dem Plafond des Portikus eines Tempels angebracht war. Er enthält neben einer zahlreichen Menge anderer Figuren auch die 12 Bilder des Tierkreises in der Ordnung, in welcher sie von der Sonne durchlaufen werden, und war so aufgestellt, daß man an der Spitze dieser Bilder den Löwen erblickte, der zuerst aus dem Thore des Tempels zu treten schien. Daß man daraus allein, ohne sichere Kenntnis der Bedeutung dieser Stellung des Tierkreises das Alter des Tempels nicht berechnen könne, liegt eigentlich auf der Hand: nichtsdestoweniger versuchten es Biot, Fourier, Dupuis u. a. Sie kamen dabei aber, je nach den Gesichtspunkten, von denen sie ausgingen, auf Epochen, die zwischen 2500 und 700 v. Chr. liegen, bis endlich Champillion und Letronne, besonders aus den griechischen Inschriften auf jenem Tempel und anderen mit ähnlichen Tierkreisen zu dem Resultate gelangten, diese Gebäude seien erst unter der Regierung Trajans oder seiner nächsten Nachfolger erbaut worden. Auf dieselben Resultate sind auch Visconti und Paravey gekommen, die sich eingehend mit den alten Tierkreisen beschäftigt haben, die man seither noch in Latopolis, Esne, sowie in Palmyra, Cathay und in mehreren Städten Indiens gefunden hat.

Übrigens hat zuerst Piazzi Smyth in der Mitte unseres Jahrhunderts an den Pyramiden nachgewiesen, daß man in Ägypten bei dem Baue solcher Denkmäler auf deren Orientierung gegen die Weltgegenden und einzelne der hellsten Sterne des Himmels, namentlich Sirius, Rücksicht nahm. Diesen Gegenstand hat aber erst in jüngster Zeit Lockyer wieder aufgegriffen, und an den Tempeln eingehende Studien darüber angestellt. Seinen Untersuchungen zufolge sind diese teils nach der Sonne, teils nach den Sternen orientiert, und zwar die ersteren derart, daß die Sonne entweder in den Äquinoctien oder in den Solstitien bei ihrem Auf- oder Untergange die ganze Länge des Tempels hindurch bis ins Allerheiligste schien. Die nach Sternen orientierten Tempel waren zum Teile so gestellt, daß einer der hellsten bei seinem heliakischen Aufgange in der Tempelaxe stand, also wieder die ganze Länge des Tempels, die häufig mehr als 1 km beträgt, durchleuchtete, zum Teile so, daß der Stern bei seiner Meridianpassage durch eine Öffnung des Daches schien, und durch Refler seines Lichtes an hochpolierten Flächen oder Edelsteinen scheinbar rätselhafte Lichteffekte hervorrief.

Wegen der Ortsveränderung der Gestirne durch die Präzession erfüllte indes bei einem nach einem Sterne orientierten Tempel dieser Stern nach mehreren hundert Jahren nicht mehr seine Bestimmung: es wurden daher im ersten Falle Seitenthore, im zweiten Nebenlöcher angebracht, ja selbst Tempel niedergerissen

und nebenan, aber nach der neuen Lage des Sternes orientiert, wieder aufgebaut. Dasselbe geschah auch, wenn die alten Tempel aus irgend einer Ursache zu Grunde gingen. Zu diesen Tempeln gehört unter andern der oben erwähnte von Tentyris, wo unter dem jetzigen sich sogar die Ruinen zweier älteren Tempel befinden. Derartige Orientierungen lassen, wo sie konstatiert werden können, auch einen Schluß auf das relative Alter jedes Baues zu.

Lockyer bemerkt weiter, daß die Tempel nach der Sonne oder nach Sternen orientiert wurden, je nachdem Dynastien aus Ober- oder Unterägypten das Land beherrschten.

Von den Erfolgen Lockyer's angeregt, stellte Penrose auch an griechischen Tempeln ähnliche Untersuchungen an, und fand auch diese teils nach der Sonne, teils nach Sternen orientiert.

§ 55. (Historische Notizen über die Astronomie des Altertumes.) Zum Schlusse dieses Gegenstandes wollen wir noch einige weitere Nachrichten über die Astronomie des Altertums mitteilen, da wir im folgenden wenig Gelegenheit mehr haben werden, auf sie zurückzukommen.

Die ersten Spuren der Astronomie finden wir in Chaldäa, wohin sie so wie alle Kultur durch das Volk der Accadier aus dem Lande Elam im südwestlichen Asien schon vor 4000 v. Chr. gebracht und wo sie später auf die semitischen Babylonier als Eroberer des Landes übergegangen sein sollen. Die ältesten, uns bekannten astronomischen Notierungen aus dieser Quelle finden sich in einer „Beobachtungen von Bel" betitelten Chronik, die unter König Sargon von Agane um 1700 v. Chr. kompiliert wurde, und beziehen sich hauptsächlich auf beobachtete Sonnen- und Mondfinsternisse, deren periodisches Wiederkehren bereits erkannt war, deren Eintreffen übrigens ganz roh nur auf Tage angegeben wird, ferner auf Kometen, die Bewegungen der Planeten, auf die Länge des Jahres ꝛc. (s. auch § 100).

Auch in China wurde die Astronomie bereits im grauen Altertume kultiviert. So wird in dem heiligsten und zugleich ältesten ihrer Bücher, dem Schu-king (Buch der Bücher), dessen Verfasser Confucius ist, erzählt, daß Kaiser Yau, der den Thron um 2350 v. Chr. bestieg, seinen Astronomen Instruktionen erteilte, in welchen vorkommt, daß der Stern, welchen wir mit α Hyder bezeichnen, am Tage der Tag- und Nachtgleichen bei Sonnenuntergang kulminiert. Daraus würde folgen, daß der Frühlingspunkt damals in den Plejaden stand, somit jene Beobachtung um das Jahr 2300 v. Chr., im 50. Jahre der Regierung Yau's gemacht ist, übereinstimmend mit der chinesischen Zeitangabe.

In demselben Werke findet sich auch die älteste auf uns gekommene Nachricht über eine Sonnenfinsternis, welche auch noch in einem zweiten Werke, dem Tschu-schu (Bonbuche) besprochen wird. Aus der Kombination beider Texte ergiebt sich als Sinn der fraglichen Stelle, daß im fünften Jahre der Regierung des Kaisers Tschung-khang die Astronomen Hi und Ho die pflichtgemäßen

Beobachtungen des Laufes der Gestirne, namentlich der Sonne und des Mondes, vernachlässigten und hingerichtet wurden, weil sie infolgedessen auch den Eintritt einer Sonnenfinsternis nicht rechtzeitig vorhersagen konnten. Die weiter mitgeteilten Umstände der Begebenheit passen nach den eingehenden, kritischen Untersuchungen von Schlegel und Kühnert recht gut auf eine ringförmige Sonnenfinsternis, die am 7. Mai 2165 v. Chr. China durchzog.

Sehr alte astronomische Beobachtungen sind uns auch von Tschu-khong, Bruder des U-wang, des Stifters der Dynastie Tschu, erhalten, welcher China während der Minderjährigkeit seines Neffen, von dem Jahre 1104 bis 1098 vor unserer Zeitrechnung beherrschte. Das Andenken dieses vortrefflichen Fürsten ist jetzt noch, nach beinahe drei Jahrtausenden, Gegenstand der Verehrung bei den Chinesen. In dem Schu-king wird dieser Fürst eingeführt, wie er seinen Zöglingen die weisesten Grundsätze der Moral und der Regierungskunst mitteilt. Von den vielen Beobachtungen, die er selbst gemacht hat oder von seinen Astronomen machen ließ, sind nur 3 auf uns gekommen, die ältesten eigentlichen Beobachtungen, die sich aus der Vorzeit erhalten haben. Die 2 ersten sind die schon (§ 24) erwähnten Messungen der Höhe der Solstitien in Lo-Yang, und die dritte ist eine Bestimmung der Länge der Sonne zur Zeit des Wintersolstitiums derselben Epoche. Indem er die Sonne mit dem Stern ε im Sternbilde des Wassermanns verglich, fand er die Rektascension dieses Sternes gleich $268^0\ 2'$, was mit der neueren Theorie der Astronomen ebensowohl übereinstimmt als die aus den beiden vorhergehenden Beobachtungen abgeleitete Schiefe der Ekliptik.

Nach ihm verfiel die Astronomie in diesem Lande, besonders als der barbarische Kaiser Chi-Hoanti im Jahre 213 v. Chr. alle Bücher des Reiches verbrennen ließ. Erst im fünften Jahrhundert unserer Zeitrechnung erhob sich die Wissenschaft wieder unter dem Astronomen Tschu-Tschong, der um das Jahr 460 zu Nanking beobachtete und die Länge des Jahres gleich 365·24282 Tage fand, nur 0·00062 Tage oder $53{\cdot}6^s$ größer, als aus den neuesten Bestimmungen folgt. — Während später im dreizehnten Jahrhundert Holaku-Hekukan die Astronomie in Persien aufblühen machte, gewährte ihr sein Bruder Hobilai in China denselben Schutz, indem er den oben erwähnten Koschu-King, den berühmtesten Astronomen Chinas, i. J. 1271 zum Vorsteher des mathematischen Tribunals dieses Landes ernannte. Koschu-King ließ viel größere und vorzüglichere Instrumente bauen, als man bisher kannte. Das kostbarste derselben war ein Gnomon von 40 chin. Fuß Höhe. Unter Koschu-King ist die § 24 angeführte Beobachtung gemacht worden. Er bestimmte überdies die Länge der Sonne zur Zeit der Solstitien und die Länge des Jahres zu 365·2423 Tagen, beinahe genau mit unserm Jahre übereinstimmend.

Ebenso weit in das Altertum zurück wie in China reichen astronomische Beobachtungen in Ägypten, wie aus Planetenkonstellationen erhellt, die man in neuerer Zeit auf alten Denkmälern verzeichnet fand. Auch bei den Indiern scheint

die Astronomie in einer an Alter nicht wesentlich verschiedenen Epoche bereits gepflegt worden zu sein: doch läßt sich bei der diesem Volke eigenen Sucht, mit dem Alter ihrer Kultur zu prahlen, die sie selbst zu Fälschungen verleitete, darüber schwer etwas Sicheres feststellen. So haben uns am Beginne dieses Jahrhunderts die Engländer mit angeblich sehr alten Planetentafeln der Inder bekannt gemacht, die sämtlich mit einer Konjunktion aller Planeten anfangen, welche um das Jahr 3100 v. Chr. beobachtet worden sein soll. Allein als man diese Tafeln, deren hohes Altertum sie uns in der That ganz besonders merkwürdig gemacht hätte, näher untersuchte, fand man, daß sie eine andere, viel neuere Epoche voraussetzen, die um das Jahr 1490 n. Chr. fällt, und daß man, wenn man mit dieser Epoche und mit den mittleren Bewegungen jener indischen Tafeln rückwärts rechnet, allerdings eine allgemeine Konjunktion der Planeten findet, die aber dessen ungeachtet nicht stattgehabt hat, weil unsere neuesten europäischen Tafeln, welche jene indischen an Vollkommenheit weit hinter sich zurücklassen, dieser Konjunktion gänzlich widersprechen und dadurch zugleich zeigen, daß jene erste altersgraue Epoche nur eines der vielen Opfer war, welche die auf ihr hohes Altertum stolzen Inder ihrer Eitelkeit zu bringen für gut gefunden haben.

Ibn-Junis, einer der ausgezeichnetsten Astronomen der Araber, beobachtete in Kahira gegen das Jahr 1000 n. Chr. unter dem ägyptischen Kalifen Hakem. Sein Werk über Astronomie wurde erst zu Ende des letzten Jahrhunderts in einer Bibliothek zu Leyden gefunden und ein Teil desselben von Caussin und Sedillot übersetzt. Seine in diesem Werke gegebenen Sonnen- und Planetentafeln werden im Oriente wegen ihrer großen Genauigkeit gerühmt, und es enthält überdies viele sehr schätzbare Nachrichten über die astronomischen Arbeiten der Araber und eine große Anzahl von Beobachtungen seit der Zeit des Kalifen Almanzor in der Mitte des achten Jahrhunderts bis auf die Zeit des Verfassers.

In Persien erblühte die Astronomie in der Mitte des elften Jahrhunderts, wo die Einwohner dieses Landes das Joch der Araber abgeworfen hatten, unter Omar-Cheiam, der eine sehr sinnreiche Einrichtung des Kalenders einführte, welche in einem Cyclus von 33 Jahren zu 365 Tagen acht Schaltjahre zu 366 Tagen enthält, wodurch die Länge des Jahres auf 365·242424 Tage gebracht wird, die nur 0·00022 Tage oder $19{\cdot}0^s$ zu groß ist. Im dreizehnten Jahrhundert versammelte der König Holaku-Hekukan die besten Astronomen seines Reiches in Meragah, wo er eine prächtige Sternwarte erbaute, die der Leitung des berühmten Nassir-Eddin anvertraut wurde. Noch mehr endlich zeichnete sich unter den Fürsten dieses Landes als eifriger Beschützer und Kenner der Astronomie Ulug-Beigh aus, der im Jahre 1430 in Samarkand, der Hauptstadt seines Reiches, eine Sternwarte erbaute und sie mit den besten Instrumenten seiner Zeit versah. Er war selbst einer der geschicktesten Beobachter, und man verdankt ihm, nebst der oben angeführten Bestimmung der Schiefe der Ekliptik, auch noch einen neuen Sternkatalog und die besten Tafeln der Sonne, des Mondes und der Planeten, die man bis zur Zeit von Tycho Brahe erhalten hat.

§ 56. (Nutation.) Eigentlich wird durch die in § 50 erwähnte Bewegung des Poles des Äquators in einem Kreise, dessen Mittelpunkt der Pol der Ekliptik ist, noch nicht die ganze Ortsveränderung jenes Poles an der Sphäre des Himmels, sondern nur der vorzüglichste Teil derselben oder die Erscheinung im großen dargestellt. Genauere Beobachtungen haben uns nämlich gelehrt, daß der Pol des Äquators in jenem Kreise zwar im allgemeinen mit der Zeit immer weiter zurückgeht, daß er aber nicht immer in der Peripherie dieses Kreises bleibt, sondern sich dem Mittelpunkte desselben bald nähert, bald wieder etwas davon entfernt, und daß er auch nicht immer mit derselben Schnelligkeit rückwärts schreitet. Jene Annäherung und Entfernung kann 9″, und diese Änderung des Rückwärtsschreitens 18″ betragen. Aber beide Unregelmäßigkeiten sind in die enge Periode von 19 Jahren eingeschlossen, nach welchen sie sich immer wieder in der alten Ordnung wiederholen. Man nennt sie die Nutation oder das Wanken der Erdachse. Theoretisch wurde dieselbe schon von Newton vermutet, während Bradley sie zuerst nachwies. Man kann sie dadurch vorstellen, daß man den Pol des Äquators binnen 19 Jahren in der Peripherie einer kleinen Ellipse herumgehen läßt, deren Mittelpunkt auf jenem Kreise in jedem Jahre 50·21″ rückwärts schreitet und deren große Achse gegen den Pol der Ekliptik gerichtet ist. Die große Achse dieser Ekliptik beträgt 19″ und die kleine 14″. Die Wirkung dieser zusammengesetzten Bewegung des Pols ist ein immerwährendes Verändern der Länge sowohl als auch der Rektascension und der Deklination der Sterne. Allein am Ende einer jeden Periode von 19 Jahren verschwinden oder vielmehr wiederholen sich die Anomalieen der Nutation, während die der Präzession mit den Jahrhunderten ohne Ende fortgehen. Wir werden in der Folge (Abt. III) wieder auf diese Erscheinung zurückkommen und die Quellen aufsuchen, aus welchen sie entspringen.

§ 57. (Übersicht des Vorhergehenden.) Wollen wir uns nun die Phänomene der Präzession und Nutation bildlich darstellen, so werden wir annehmen, daß der Äquator AVQ (Fig. 24. S. 116) auf der festen Ekliptik MVL sich rückwärts oder von V nach V′ bewegt, wodurch also der Frühlingspunkt, der gegenwärtig in V ist, nach tausend Jahren z. B. in V′ und nach neuen tausend Jahren in V″ sein wird, wobei der Winkel QVL beider Ebenen oder die Schiefe der Ekliptik unverändert bleibt. Dieser gleichförmige Rückgang des Frühlingspunktes heißt die Präzession. Die Nutation aber ist Ursache, daß die gleichförmige Bewegung des Punktes V kleine Verrückungen erfährt, die sich jedoch alle 19 Jahre wiederherstellen. Vermöge dieser Verrückungen geht der Punkt V bis 18″ vor- oder rückwärts von seinem ihm durch die Präzession angewiesenen mittleren Orte in der Ekliptik ML und entfernt sich auch über oder unter diese Ekliptik bis auf 9″. Demnach bewegt sich also der Punkt V, durch die Wirkung der Präzession und Nutation, in einer den Weg VV′V″ . . umgebenden Schlangenlinie, und ganz ebenso bewegt sich also auch (nach § 50) der Pol N des Äquators um den

ruhenden Pol E der Ekliptik, indem er, vermöge der Präzession, den Kreisbogen NN'N'' zurücklegt, und indem er, vermöge der Nutation, um diesen Kreisbogen die in der erwähnten Figur verzeichnete Schlangenlinie beschreibt.

Übrigens darf man diese Änderung der Erdachse am Himmel nicht mit einer Änderung dieser Achse im Innern der Erde verwechseln. Die Erdachse geht hierbei immer durch dieselben Punkte der Erde; aber diese Achse dreht sich, samt der Erde, durch welche sie gleichsam als eine feste Stange geht, um die Achse der Ekliptik und trifft sonach, verlängert, in verschiedenen Zeiten auch verschiedene Punkte des Himmels.

Nach dem Obigen wird durch die Wirkungen der Präzession und Nutation die Rektascension sowohl als auch die Deklination der Fixsterne (Einl., § 10), je nach der Lage dieser Sterne gegen die Pole, mannigfaltig geändert, und man ersieht daraus, daß es nicht genug ist, die Rektascension und Deklination eines Sternes für irgend eine Zeit genau zu bestimmen, sondern daß man auch noch die Veränderungen kennen muß, welche diese Größen durch Präzession, durch Nutation und durch Aberration (Kap. VI) erfahren, um die Rektascension und Deklination derselben auch für jede andere Zeit angeben zu können. Die Astronomen nennen dies die scheinbare Position der Fixsterne, während die mittlere jene genannt wird, die statthaben würde, wenn Präzession, Nutation und Aberration nicht existierten.

Kapitel VIII.

Planetensysteme.

§ 58. (Mannigfaltige Bewegungen der Planeten.) Zu den Körpern des Himmels, welche sich zunächst um uns in dem großen Weltenraum befinden, gehören nebst der Sonne nach unseren heutigen Kenntnissen 8 größere Planeten, welche, mit Ausnahme von zweien, Monde besitzen, und sich vor den übrigen Gestirnen durch einen beträchtlichen Durchmesser ihrer kreisförmigen Gestalt auszeichnen, während die Fixsterne auch in den besten Fernrohren nur wie unmeßbare Punkte erscheinen. Außer diesen gehört zum Staate unserer Sonne noch eine Gruppe von mehreren hundert kleinen Planeten, und eine sehr große Zahl von Kometen. Alle diese Himmelskörper bilden gleichsam eine Familie, zu der wir selbst gehören, und die wir daher vor allem näher kennen lernen sollen.

Die Planeten und ihre Monde ordnen sich, in Bezug auf die Sonne, folgendermaßen: Merkur, Venus, Erde mit einem, Mars mit zwei Monden; die kleinen Planeten oder Asteroiden, Jupiter mit 5, Saturn mit 8, Uranus mit 4 und Neptun mit einem Satelliten.

Das Merkwürdigste an den Planeten ist, daß sie, abgesehen von der täglichen, durch die Rotation unserer Erde um ihre Achse bewirkten scheinbaren, allen

Himmelskörpern gemeinschaftlichen Bewegung, noch eine eigene unter den Fixsternen besitzen. Allein diese ihre Bewegung ist keineswegs so regelmäßig wie die der Sonne oder die des Mondes, ja nicht einmal immer, wenngleich größtenteils nach Osten gerichtet: zuweilen scheinen sie auch gänzlich stille zu stehen, und ihren Ort am Himmel durch längere Zeit gar nicht zu ändern.

Diese Abwechselungen in ihrer Bewegung sind in regelmäßige Perioden eingeschlossen, die von dem Stande dieser Körper gegen die Sonne oder von dem Winkel abhängen, welchen die Gesichtslinien von unserm Auge nach der Sonne und nach den Planeten unter sich bilden. Die nach Ost gerichtete Bewegung nennt man direkt oder *rechtläufig*, die nach West gekehrte *retrograd* oder *rückläufig*, und wenn der Planet seinen Ort am Himmel einige Zeit durch nicht verändert, heißt er *stationär* oder *stillstehend*.

§ 59. (Bewegung der unteren Planeten.) Die Erscheinungen, von denen hier die Rede ist, sind wohl im allgemeinen für alle Planeten dieselben, aber Merkur und Venus zeigen doch mehrere Eigenheiten, welche bei den übrigen nicht angetroffen werden, daher wir vorerst diese betrachten wollen.

Jene zwei, die man auch die *unteren* Planeten heißt, entfernen sich nie weit von der Sonne, so daß sie gleichsam als Begleiter derselben anzusehen sind, während alle übrigen sich scheinbar in alle Entfernungen von ihr wagen und sich auch oft an der der Sonne gegenüberstehenden Gegend des Himmels zeigen. Wenn die unteren Planeten für uns der Sonne am nächsten stehen und ihre Scheibe, wie der Mond im Volllichte, ganz beleuchtet und zugleich am kleinsten erscheint, so ist ihre direkte Bewegung am schnellsten, oder sie entfernen sich am geschwindesten von der Sonne gegen Ost. Sobald aber *Merkur* nahe 23° östlich von der Sonne sich entfernt, d. h. seine größte *Digression* erreicht hat, kommt er wieder zu ihr zurück, obschon seine Bewegung, in Beziehung auf die Fixsterne, noch immer direkt, wenngleich schon sehr langsam geworden ist. Steht er auf diesem Gange zur Sonne etwa 18° von ihr ab, so verschwindet seine Bewegung gänzlich, und er wird stationär. Bald darauf nimmt er eine retrograde Bewegung an, die immer geschwinder wird, und mit welcher er sich der Sonne auch noch mehr nähert, bis er sie endlich erreicht und dabei für uns ganz unsichtbar wird. Denn während dieser ganzen Periode hat seine scheinbare Größe zwar immer zugenommen; aber von seiner Scheibe ist nach und nach immer ein kleinerer Teil auf der westlichen oder der Sonne zugekehrten Seite beleuchtet, wie wir dies bei dem abnehmenden Monde bemerken, bis endlich die lichte Scheibe am Ende dieser Periode, wie der Mond im Neulichte, gänzlich verschwindet. Wenn Merkur so zum zweiten Male in die Nähe der Sonne gekommen ist, ist seine retrograde Bewegung am schnellsten. Bald darauf entfernt er sich mit einer immer schwächer werdenden Geschwindigkeit auf der Westseite von der Sonne, bis er, in der westlichen Entfernung von 18°, wieder eine Zeit durch stillsteht. Wenn er dann mit einer allmählich schneller werdenden *direkten* Bewegung sich bis 23° von der Sonne

entfernt hat, fängt er an, sich ihr zu nähern, und kommt endlich, wenn seine direkte Bewegung am größten ist, wieder bei ihr, das heißt, wieder in dem Punkte an, von welchem er im Anfange der ersten Periode ausgegangen war, um fortan dieselben Erscheinungen in der aufgezählten Ordnung zu wiederholen. Während dieser zweiten Periode hat seine scheinbare Größe immer abgenommen, aber seine östliche, d. h. seine der Sonne zugewendete Seite wurde, wie der zunehmende Mond, immer mehr und mehr beleuchtet, während die westliche Seite dunkel blieb, bis sie endlich am Ende der zweiten Periode, wie der Mond im Vollichte, gänzlich beleuchtet ist. Die Dauer jeder dieser zwei Perioden ist nahe 58 Tage, also die Zeit, welche den ganzen Wechsel dieser Erscheinungen umfaßt, 116 Tage; die Zeit aber, während welcher Merkur eine retrograde Bewegung hat, beträgt $17^1/_2$ Tage, und der Bogen, den er während dieser rückläufigen Bewegung beschreibt, ist nahe $12^1/_2{}^0$. — Ganz ähnliche Erscheinungen bietet auch der zweite untere Planet, Venus; nur sind die so eben für Merkur angeführten für Venus durchaus größer. Ihre größte Ausweichung von der Sonne beträgt $46^1/_2{}^0$, die Ausweichung zur Zeit ihres östlichen und westlichen Stillstandes 28^0. Die Zeit einer jeden dieser zwei Perioden beträgt 291, also die des ganzen Wechsels der Erscheinungen 582 Tage und die Zeit ihres Rückgangs 41 Tage, sowie auch der Bogen ihres Rückgangs nahe 16^0 umfaßt. Beide Planeten endlich stehen während der Zeit ihrer ersten Periode östlich von der Sonne, gehen also, als Abendsterne, nach der Sonne auf und unter, während sie in der zweiten Periode der Sonne westlich stehen oder als Morgensterne vor ihr auf- und untergehen.

§ 60. (Bewegungen der oberen Planeten.) Anders sind diese Erscheinungen bei den sogenannten oberen Planeten. — Mars z. B. hat zwar, so wie jene, seine größte östliche Bewegung und zugleich seinen kleinsten Durchmesser zu der Zeit, wo er uns ganz nahe bei der Sonne erscheint. Aber diese Geschwindigkeit nimmt mit der westlichen Entfernung von der Sonne immer ab und verschwindet endlich in der Distanz von 137^0 auf der Westseite der Sonne, wo er unter den Fixsternen eine kurze Zeit stille zu stehen scheint und bald darauf mit einer immer schneller werdenden retrograden Geschwindigkeit sich noch weiter von der Sonne entfernt. Wenn er der Sonne gerade gegenüber zu stehen kommt oder um Mitternacht durch den Meridian geht, ist seine retrograde Bewegung sowie auch sein scheinbarer Durchmesser am größten. Von diesem Punkte nimmt seine Geschwindigkeit allmählich ab, bis sie in der Entfernung von 137^0 auf der Ostseite der Sonne wieder verschwindet und der Planet daher neuerdings stationär wird. Bald darauf nimmt er seine östliche oder direkte Bewegung wieder an und nähert sich mit einer immer größern Geschwindigkeit der Sonne, die er endlich mit seiner größten direkten Bewegung und mit seinem kleinsten scheinbaren Durchmesser erreicht, um von ihr aus eine neue Periode derselben Erscheinungen zu beginnen. Die Dauer und Größe dieser Phänomene für die großen oberen Planeten enthält die folgende kleine Tafel:

	Dauer der ganzen Periode.	Ausweichung von der Sonne beim Stillstand.	Bogen des Rückgangs.	Dauer des Rückgangs.
Mars	779·9 Tage	137°	14°	70 Tage
Jupiter	398·8 =	117	10	119 =
Saturn	378·0 =	108	7	136 =
Uranus	370·5 =	102	4	150 =
Neptun	367·5 =	100	3	158 =

Übrigens sind diese Zahlen nur die mittleren von denjenigen, die man in der That beobachtet, und diese letzten sind oft nicht unbeträchtlich von jenen verschieden. So verändert sich die Ausweichung des Mars bei seinem Stillstande von 129° bis 147° und die Dauer seines Rückgangs von 60 bis 80 Tagen, und ähnliche Variationen bemerkt man auch bei allen übrigen Planeten.

Bisher haben wir aber nur die Bewegung der Planeten in ihrer Länge betrachtet, und sie ist, wie man sieht, bereits nicht wenig verwickelt. Allein noch viel verwickelter wird sie, wenn man zugleich auch auf die Veränderungen ihrer Breite Rücksicht nimmt. Diese bewirken nämlich nicht selten, daß der Planet, wenn er aus der retrograden Bewegung wieder in die direkte übergeht, seinen früheren Weg durchkreuzt, also in Schlingen sich fortzubewegen scheint, wie man leicht erkennt, wenn man sich den Lauf desselben nach einer Ephemeride auf einen Himmelsglobus (siehe unten § 114) oder eine Sternkarte (§ 118) einzeichnet. Solche Schlingen treten besonders häufig bei den unteren Planeten auf.

§ 61. (Erste Ungleichheit der Planeten, siderische Revolution.) Was soll man nun von allen diesen Sonderbarkeiten denken, und dann — auf welche Weise sollen wir sie uns erklären? Um aber die Natur des letzteren Problems besser zu übersehen, ist es nötig, voraus zu bemerken, daß die Ungleichheiten in den Bewegungen der Planeten eigentlich zweierlei Art sind.

Die einen bestehen nicht in den so eben geschilderten auffallenden Veränderungen von Vor- und Rückwärtsgehen, von Schlingen und Stillständen, sondern vorzüglich in einer Änderung der Geschwindigkeit, mit welcher der Planet in seiner Bahn einhergeht. Diese Ungleichheit fand sich auch bei der Sonne und bei dem Monde, wo sie um so leichter bemerkt werden konnte, da diese Gestirne keine andere Ungleichheit zeigen. Man bemerkte nämlich, daß die tägliche Änderung der Sonne in Länge immer am größten wurde und 61·2′ betrug, wenn die Länge der Sonne selbst nahe 280° hatte, oder wenn sie im Anfange des Januar im Sternbilde des Schützen erschien, während sie die kleinste Geschwindigkeit von 57·2′ in der Länge von 100° oder im Anfange des Juli hatte, wo sie sich in dem Sternbilde der Zwillinge aufhielt. Da diese Verschiedenheit der Bewegung sich täglich summiert und daher im Laufe von 14 Tagen schon 1° beträgt, konnte sie der Aufmerksamkeit der älteren Beobachter trotz ihrer unvollkommenen Instrumente nicht entgehen. Etwas Ähnliches zeigte sich ebenfalls, aber in verstärktem Maße am Monde, indem der Unterschied zwischen seiner beobachteten und mit einer

mittleren Winkelgeschwindigkeit berechneten Länge bis auf 6° anstieg. Diese Anomalie nannte man die erste Ungleichheit; sie wiederholt sich genau in derselben Weise, sobald der Planet von der Sonne gesehen zu denselben Fixsternen (sidus) zurückkehrt, weshalb sie auch als siderische Revolution bezeichnet wird.

§ 62. (Zweite Ungleichheit der Planeten, synodische Revolution.) Die auffallendsten Unregelmäßigkeiten, die Schlingen der Bahn, wo der Planet einen Rücksprung macht, um seinen eigenen Weg zu durchschneiden, haben immer in der Nähe seines Stillstandes und um die Zeit statt, wo er entweder bei der Sonne oder, für die oberen Planeten, ihr gerade gegenüber steht, und wo der Durchmesser desselben am größten erscheint, also wo der Planet selbst uns am nächsten ist. Die Orte des Himmels, wo diese Stillstände und Schlingen statthaben, ändern sich zwar mit jedem Jahre; aber die Stellung der Planeten gegen die Sonne, wenn jene Erscheinungen stattfinden, bleibt immer dieselbe, und die Zeiten, welche von einer Rückkunft des Planeten zur Sonne bis zur nächstfolgenden verfließen, sind im allgemeinen immer dieselben. Man nennt diese Zeiten die synodischen Umläufe oder die Revolutionen der Planeten in Beziehung auf die Sonne. Es fehlt allerdings auch hier nicht an Ungleichheiten, wie auch bereits oben bemerkt worden ist; aber wenn man die mittlere Größe dieser Umläufe aus sehr weit, z. B. aus Jahrhunderte von einander entfernten Beobachtungen sucht, so findet man sie immer von gleicher Größe. Man hat so z. B. für die synodische Revolution von Merkur 116, Venus 584, Mars 780, Jupiter 399, Saturn 378 Tage gefunden, durch welche jene Erscheinungen des Vor- und Rückwärtsgehens und des Stillstandes der Planeten gleichsam reguliert werden. So kommt Jupiter immer 142 Tage nach seiner Konjunktion (§ 45) mit der Sonne, wenn er von ihr 117° entfernt ist, zu seinem ersten Stillstande, nach welchem er seine rückgängige Bewegung anfängt, die 119 Tage dauert, so daß er am Ende von 261 Tagen nach seiner Konjunktion in seinen zweiten Stillstand tritt, nach welchem er wieder seine rechtläufige Bewegung anfängt, und ähnlich bei allen anderen Planeten.

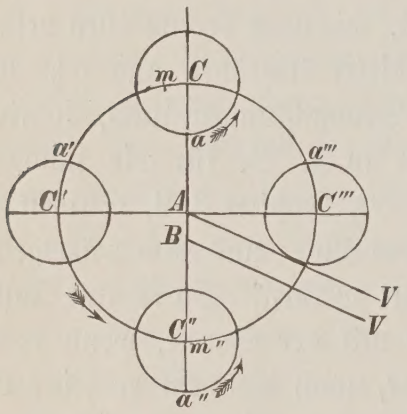
Diese Anomalieen in der Planetenbewegung wurden von den Astronomen des Altertums die zweite Ungleichheit genannt.

Es wird vielleicht zur besseren Übersicht des Folgenden nicht unangemessen sein, schon hier die Bemerkung einzuschalten, daß die erste Ungleichheit daher rührt, daß die Planeten nicht in Kreisen, sondern in Ellipsen um die Sonne sich bewegen, und daß daher ihre Geschwindigkeiten an verschiedenen Punkten dieser Ellipsen auch in der That verschieden sind. Die zweite Ungleichheit aber hat ihre Ursache darin, daß wir die Planeten von der Erde, also von einem selbst veränderlichen Standpunkte aus, beobachten.

§ 63. (Grundsätze der Planetentheorie bei den älteren Astronomen.) Auf die eben besprochenen Ungleichheiten muß natürlich bei jeder Erklärung, welche man über die Bewegung der Planeten aufstellen will, gehörig Rücksicht genommen werden.

Dabei gingen die alten Astronomen überdies von dem sonderbaren Grundsatze aus, daß die Erde in der Mitte des Weltraumes unbeweglich ruhe, nicht nur, weil dies dem äußeren Scheine gemäß, sondern hauptsächlich deshalb, weil die Erde der wichtigste Körper des Weltalls sei, und es ihr daher nicht angemessen wäre, sich um die andern, die ja nur ihretwegen da sind, zu bewegen. Mit diesem Prinzipe verbanden sie ein zweites von nicht größerem Werte, daß nämlich alle Bewegungen der Himmelskörper in Kreisen vor sich gehen müssen, weil der Kreis die vollkommenste aller krummen Linien und daher allein dem großen Urheber der Natur angemessen sei. Diese zwei teleologischen, auf nichts gegründeten Meinungen wurden allgemein als unumstößlich und unangreifbar angenommen, so daß sich im Laufe der Zeit durch eine merkwürdige Verwirrung der Begriffe nach und nach sogar die Idee festsetzte, ein Bezweifeln derselben sei ein Verbrechen und Gotteslästerung; sie waren es daher, die uns Jahrtausende hindurch die Wahrheit verschleiert und die richtige Erkenntnis der Einrichtung der Natur unmöglich gemacht haben.

Fig. 25.



Sehen wir nun zu, wie die alten Astronomen zu Werke gegangen sind, die beiden Ungleichheiten in der Planetenbewegung unter diesen Voraussetzungen zu erklären.

§ 64. (Erklärung der ersten Ungleichheit durch den excentrischen Kreis.) Sei A (Fig. 25) der Mittelpunkt der kreisförmigen Sonnenbahn CC'C'' und AV die Linie der Frühlingsnachtgleichen, von welcher alle Längen in der Richtung C'''C von West gen Ost gezählt werden. Da die Bewegung im Kreise nur gleichförmig sein kann, so nehmen wir an, daß die Sonne, welche den ganzen Kreis CC'C'' in 365·2564 Tagen zurücklegt, in jedem Tage denselben Bogen Cm = C''m'' beschreibe. Wäre nun die Erde im Mittelpunkte A jenes Kreises, so würde sie diese gleichen Bogen auch immer unter den gleichen Winkeln CAm = C''Am'' sehen, was gegen die Beobachtungen ist, da wir die Sonne im Winter täglich um einen größeren Bogen in Länge vorrücken sehen als im Sommer. Nehmen wir aber die Erde irgendwo aus dem Mittelpunkte jenes Kreises, z. B. in B an, wo dann wieder die mit AV parallele BV die Linie der Nachtgleichen bezeichnet, so werden, von diesem Punkte B gesehen, die beiden gleichgroßen Bogen Cm und C''m'' unter den verschiedenen Winkeln CBm und C''Bm'' erscheinen, und da der erstere dieser Winkel der kleinere ist, so wird C der Ort der Sonne im Sommer, wo ihre Länge VAC = VBC = 100° ist, und C'' der Ort derselben im Winter sein, wo ihre Länge VAC'' = VBC'' = 280° beträgt, wenn man nur die Entfernung AB der Erde von dem Mittelpunkte des Kreises so bestimmt, daß jene 2 Winkel CBm = 57·2′ und C''Bm'' = 61·2′ werden. Dies wird aber dann der Fall sein,

wenn man den Punkt B so annimmt, daß $C''B = 0{\cdot}965\ AC''$ oder, was dasselbe ist, daß $AB = 0{\cdot}035\ AC''$ wird, oder daß die gesuchte Entfernung AB etwa den 30sten Teil des Halbmessers AC'' des Sonnenkreises beträgt.

Dies war auch in der That die Anordnung, welche Hipparch einführte, um die Bewegung der Sonne darzustellen, und welche später auf alle Planeten ausgedehnt wurde. Den Kreis CC'C'', in welchem die Sonne einhergeht, während die Erde außer dem Mittelpunkte dieses Kreises, in dem Punkte B ist, nannten sie den excentrischen Kreis. Nach dieser Darstellung ist also die Sonne im Anfang des Juli in C, wo sie die kleinste Geschwindigkeit und, wegen ihrer größten Entfernung von der Erde, auch den kleinsten scheinbaren Durchmesser hat, und im Anfang des Januar in C'', wo sie die größte Geschwindigkeit und zugleich ihren größten Durchmesser hat. In dem Halbkreise CC'C'' nahmen Geschwindigkeit und Durchmesser, wie die Sonne der Erde näher kam, allmählich zu und ebenso auch in dem andern Halbkreise C''C'''C nach demselben Gesetze wieder ab. Bald nach C' und kurz vor C''' hatten beide Größen ihren mittleren Wert, und dies stimmte alles genau genug mit den in jenen Zeiten allerdings noch sehr unvollkommenen Beobachtungen.

Ein ähnliches Verfahren beobachteten die Alten auch bei dem Monde und bei allen übrigen Planeten, um dadurch die oben angeführte erste Ungleichheit derselben darzustellen. Unter dieser Annahme rühren die Veränderungen des Halbmessers eines Gestirnes lediglich von der größeren oder kleineren Entfernung desselben von der Erde her; es müssen daher die Halbmesser den Distanzen proportional sein. Allein dies ist keineswegs der Fall: indes hätten die Alten die Verschiedenheit dieser Verhältnisse mit ihren unvollkommenen Instrumenten höchstens beim Monde erkennen können, wenn sie diesen Gegenstand mit der ihm gebührenden Aufmerksamkeit verfolgt hätten, da ihrer Theorie zufolge die Variationen seines Durchmessers bis auf 9' hätten ansteigen müssen, während sie in der That bloß 4' betragen. Die Mittel der Alten reichten übrigens überhaupt nicht hin, die Distanzen der Planeten von der Erde, etwa die des Mondes ausgenommen, zu bestimmen: sie blieben daher über diesen wichtigen Gegenstand der Astronomie ganz im Dunkeln.

§ 65. (Erklärung der zweiten Ungleichheit durch die Epicykel.) Um nun auch die zweite Ungleichheit der Planeten oder ihren Stillstand und Rückgang darzustellen, ohne dadurch weder die Erde in ihrer Ruhe zu stören, noch auch sich von der einmal beliebten Bewegung in Kreisen zu entfernen, nahm man an, daß sich auf der Peripherie CC' des excentrischen Kreises (§ 64) der Mittelpunkt eines andern Kreises Ca von West gen Ost gleichförmig bewege, während der Mittelpunkt des Planeten in der Peripherie dieses zweiten Kreises ebenfalls von West gen Ost und ebenfalls gleichförmig einhergeht. Man nannte diesen zweiten Kreis Ca den Epicykel, und den ersten oder den excentrischen Kreis CC' auch den deferirenden Kreis, weil dieser dem Epicykel zum Leiter diente oder ihn um die Erde B fortführte.

Man sieht, daß man durch eine solche Anordnung das Vor- und Rückwärtsgehen und das Stillstehen der Planeten im allgemeinen leicht erklären kann. Denn wenn z. B. das Centrum des Epicykels in C″ und der Planet in seinem entferntesten Punkte a″ von der Erde B ist, so haben beide Punkte C″ und a″ dieselbe direkte Bewegung nach dem Punkte m″ hin, und der Planet wird, von der Erde gesehen, die Summe jener beiden Geschwindigkeiten, oder er wird seine größte direkte Bewegung haben. Wenn aber der Mittelpunkt des Epicykels nach einer halben Revolution in dem Punkte C und zugleich der Planet in dem der Erde nächsten Punkte a ankommt, so wird die Bewegung des Punktes C gegen die linke, die des Punktes a aber gegen die rechte Seite gerichtet sein, oder beide Punkte werden hier eine entgegengesetzte Bewegung haben, und wenn, wie vorausgesetzt wird, die Geschwindigkeit des Planeten in der Peripherie seines Epicykels größer ist als die des Mittelpunktes des Epicykels, so wird der Planet, aus der Erde B gesehen, mit der Differenz jener beiden Geschwindigkeiten sich zu bewegen scheinen und infolge dessen seine größte retrograde Bewegung haben. In dem Punkte a″ steht die Richtung der Bewegung des Planeten in seinem Epicykel senkrecht auf die Linie BC″, welche den Mittelpunkt des Epicykels mit der Erde verbindet. Wenn aber C″ im deferirenden Kreise und a″ im Epicykel weiter rechts fortschreitet, wird sich die Richtung der Bewegung des Planeten a″ immermehr gegen die Erde hin neigen und daher derjenige Teil der Bewegung desselben, der von der Bewegung des Planeten in seinem Epicykel kommt, immer kleiner erscheinen, während die des Mittelpunktes des Epicykels, von A gesehen, immer dieselbe bleibt. Auf diese Weise wird der Mittelpunkt des Epicykels an einen Punkt gelangen, wo jener Teil der Bewegung ganz verschwindet, und wo daher der Planet nur mehr mit der konstanten Geschwindigkeit des Epicykels, d. h. mit seiner mittleren, direkten Geschwindigkeit fortgehen wird. Nach diesem Punkte wird sich die Richtung der Bewegung des Planeten in seinem Epicykel wieder von der Erde immer mehr und mehr entfernen, oder jener Teil der Bewegung wird rückgängig, und die ganze Bewegung immer kleiner werden, weil jener rückgängige Teil immer wächst, bis er endlich so groß wie die ihrer Natur nach immer rechtläufige Bewegung des Mittelpunktes des Epicykels wird, und dann wird der Planet für die Erde ganz still zu stehen scheinen. Da von diesem Punkte an die retrograde Geschwindigkeit jenes Teils noch weiter wächst, so wird die Geschwindigkeit des Planeten retrograd werden und wachsen, bis sie für den Punkt C ihren größten Wert erreicht. Ähnliche Erscheinungen werden in derselben, nur verkehrten Ordnung auch in der zweiten Hälfte CC′C″ der Bahn statthaben. Verfolgt man auf diese Art den Planeten durch den Lauf einer ganzen Revolution in einer Zeichnung, so wird man dadurch nicht nur die verschiedenen Geschwindigkeiten desselben, wie sie von der Erde aus erscheinen, sondern auch die Punkte seines Stillstandes, die Bogen seines Rückgangs und selbst die Schlingen seiner Bahn leicht und deutlich darstellen können.

§ 66. (Bestimmung der Umlaufszeiten dieser beiden Kreise.) Es wird also nur noch darauf ankommen, die Halbmesser der beiden Kreise und die Bewegungen der beiden, in ihrer Peripherie laufenden Punkte so einzurichten, daß sie den Beobachtungen, welche man an den Planeten gemacht hat, entsprechen.

Zu diesem Zwecke nahm man an, daß die Umlaufszeit des Planeten in der Peripherie seines Epicykels gleich ist der synodischen Revolution (§ 62) desselben, während die Umlaufszeit des Mittelpunkts des Epicykels in der Peripherie des deferirenden Kreises für die oberen Planeten der siderischen Revolution (§ 61) dieser Planeten und für die 2 unteren Planeten, Merkur und Venus, der siderischen Revolution der Sonne von 365·256 Tagen gleichgesetzt wurde. Da man ferner bemerkte, daß die oberen Planeten zur Zeit ihrer Konjunktion (§ 45) ihre größte direkte, und zur Zeit der Opposition ihre größte retrograde Bewegung haben, so versetzte man den Ort der Planeten zur Zeit der Konjunktion in den fernsten Punkt a″ und zur Zeit der Opposition in den nächsten Punkt a seines Epicykels. Bei den unteren Planeten endlich, wo es keine Oppositionen, sondern nur 2 Konjunktionen giebt, nannte man diejenige, wo der Planet seine größte rechtläufige Bewegung und seinen kleinsten Durchmesser hat, die obere und die andere, wo der Planet seine größte rückläufige Bewegung und seinen größten scheinbaren Durchmesser hat (§ 59), die untere Konjunktion. Um auch diese unteren Planeten mit den Beobachtungen in Übereinstimmung zu bringen, wurden sie zur Zeit ihrer oberen Konjunktion in dem fernsten Punkte a″ und zur Zeit ihrer unteren Konjunktion in dem der Erde nächsten Punkt a ihres Epicykels angenommen.

§ 67. (Ptolemäisches Planetensystem.) So viel wir wissen, war Ptolemäus, der um die Mitte des zweiten Jahrhunderts unserer Zeitrechnung in der berühmten Schule von Alexandrien lebte, der Erste, welcher nach diesen Grundsätzen eine vollständig abgerundete Theorie der Bewegungen im Himmelsraume gab, in dem Werke: *μεγάλη σύνταξις*, das bei uns unter der arabischen Benennung des Almagests bekannter ist. Nach ihm steht die Erde in dem Mittelpunkte von 11 konzentrischen Kreisen oder Sphären still, und die Planeten bewegen sich in der Peripherie dieser Kreise so, daß in dem ersten, kleinsten oder der Erde nächsten Kreise der Mond einhergeht, während in den 6 folgenden, immer weiteren Kreisen sich Merkur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter und Saturn bewegen; die übrigen Planeten kannte er noch nicht, konnte sie also auch in sein System nicht aufnehmen. Über dem Kreise Saturns, der die siebente Sphäre bildet, nahm er eine achte an, in welcher alle Fixsterne sich befinden sollten. Eine neunte und zehnte gebrauchte er, um die Phänomene der Präzession (Kap. VII) zu erklären, und eine elfte Sphäre endlich, die unter dem Namen des Primum mobile alle andern umschloß, hatte die Aufgabe erhalten, alle 10 inneren Sphären, einschließlich in welchen die Planeten überdies vermöge der ihnen eigentümlichen jährlichen Bewegung gen Ost gingen, gemeinschaftlich in

jedem Tage von Ost nach West um die ruhende Erde zu führen. Indem diesem allgemeinen Impulse auch die vierte Sphäre, in welcher die Sonne sich bewegte, gehorchte, entstand der Tag und die Nacht, und um ebenso auch die Entstehung der Jahreszeiten nicht unerklärt zu lassen, erteilte er dieser Sonne in ihrer Sphäre noch eine eigene jährliche schraubenförmige Bewegung, wodurch sie sich in mannigfaltigen Windungen während der einen Hälfte des Jahres von dem Äquator der Erde entfernen und in der andern sich ihm wieder nähern sollte.

Diese Anordnung unserer Sonnenwelt wird das Ptolemäische Planetensystem genannt. Es wird aber nicht angemessen sein, dasselbe hier umständlich zu erläutern, da es für Jeden, der das Vorhergehende auch nur mit einiger Aufmerksamkeit gelesen hat, seine Widerlegung in sich selbst trägt. In der That lassen sich viele der oben angeführten Erscheinungen durch dieses System gar nicht erklären; ja, einige stehen sogar mit demselben in geradem Widerspruche. Nach dieser Anordnung müßten wir die 2 untern Planeten, Merkur und Venus, auch zuweilen der Sonne gegenüber oder mit ihr in Opposition (§ 45) sehen, was aber den Beobachtungen zufolge nie der Fall ist. Ptolemäus ordnete offenbar die Planeten in seinem Systeme so an, daß er den geschwindesten für den nächsten und den langsamsten für den entferntesten von der Erde hielt. So kamen der Mond, der in 27 Tagen, und Saturn, der erst in 29 Jahren um die Erde geht, an die beiden äußersten Grenzen, und die Sonne, Mars und Jupiter wurden nach dieser Regel leicht zwischen jene eingeschaltet. Aber wo sollten nun Merkur und Venus hingesetzt werden, sie, die bald geschwinder, bald wieder langsamer als die Sonne gehen? Sie mit Ptolemäus ohne weiteres zwischen die Erde und die Sonne zu setzen, geschieht offenbar ohne hinreichende Ursache und nur aufs Gerathewohl. Wie unwahrscheinlich ist es ferner, daß die Erde die äußerste oder elfte Sphäre, und durch diese die Sphären aller anderen Planeten, und selbst die der Fixsterne, in einer so sonderbaren Bewegung und alle ohne Ausnahme genau in derselben Zeit täglich um ihren Mittelpunkt bewegen soll! Ptolemäus scheint diesen Ungereimtheiten dadurch begegnen zu wollen, daß er jene Sphären als feste Körper, gleichsam als krystallene Kugelschalen annahm, welche die in ihren Öffnungen angebrachten Planeten mit sich selbst um die Erde wälzen. Aber was sollte man, wenn man auch diesen wunderlichen Einfall annehmen wollte, mit den unzähligen Kometen anfangen? Müßten sie diese krystallenen Sphären nicht schon längst in allen ihren Teilen durchlöchert und zertrümmert haben?

§ 68. (Ägyptisches Planetensystem.) Diese und mehrere andere Gründe zeigen die Unzulässigkeit dieses Systems so deutlich, daß dies schon die älteren Astronomen fühlten, denen besonders die bereits oben angeführte Bemerkung auffiel, daß man Merkur und Venus nie der Sonne gegenüber sieht, wie man sie doch, bei einer solchen Anordnung derselben, sehen müßte. Sie suchten daher auch die angegebene Ordnung der Planeten dahin abzuändern, daß sie den Mond, die Sonne, Mars,

Jupiter und Saturn in immer größeren Kreisen wie zuvor um die in ihrem gemeinschaftlichen Mittelpunkte ruhende Erde einhergehen ließen, die beiden unteren Planeten aber in kleineren Kreisen, deren Mittelpunkt die Sonne ist, um dieselbe bewegten. Auf diese Weise entstand das, soviel wir wissen, zuerst von Heraklides dem Pontiker ausgedachte und später fälschlich den Ägyptern zugeschriebene System, in welchem die Sonne der Mittelpunkt der Bewegung für die 2 unteren Planeten, die Erde aber das Centrum für die Sonne sowohl als auch für alle übrigen Planeten war. Dadurch wurde nun wohl die erwähnte Erscheinung, welche die 2 unteren Planeten darbieten, gerettet, da sie fortan immer nur als Begleiter der Sonne in ihrer Nähe gesehen werden konnten, aber unsere anderen Einwürfe gegen das ganze System behalten noch immer ihre volle Stärke.

Obschon also durch das ägyptische Planetensystem der Lauf der Planeten mit den unvollkommenen Beobachtungen der Alten genau genug dargestellt wurde, so kann man es doch nicht für das wahre System der Natur halten. Dazu kam noch, daß die Schwierigkeiten, welche diese Anordnung darbot, sich immer mehr häuften, je besser man die Natur selbst durch aufmerksame Beobachtungen kennen lernte. Die Bewegungen der beiden unteren Planeten konnten durch jene beiden Kreise auf keine Art genügend dargestellt werden, und der Mond besonders zeigte noch mehrere große Ungleichheiten, die einer epicyklischen Bewegung geradezu widersprachen. Man versuchte es daher, auf dem Umkreise des Epicykels noch einen anderen, ja noch einen dritten Kreis laufen und erst in der Peripherie des letzten den Planeten selbst einhergehen zu lassen, ohne aber dadurch der Wahrheit viel näher zu kommen. Nicht minder kläglich, ja meistens gar nicht wurden dadurch die Bewegungen der Planeten in der Breite berücksichtigt, da zu diesem Zwecke die Epicykel unter einander und gegen den deferierenden Kreis besondere Neigungen erhalten mußten, wodurch das ganze Gerüste von schief auf einander laufenden Kreisen noch mehr verwickelt wurde. Welch ein System, das einigen Himmelskörpern 2 und 3 Epicykel, andern nur einen und wieder andern, wie der Sonne, gar keinen anwies, und das alle Planeten in ihrem Lauf um die Erde von der Sonne abhängig machte, die doch auch nichts weiter als wieder ein Planet sein sollte! Welche abenteuerliche Kraft ist es, die in dem Mittelpunkte des Epicykels, einem bloß eingebildeten, durch nichts ausgezeichneten Punkt, ihren Sitz hat und doch den Planeten um sich zu bewegen imstande ist! Welch eine sonderbare, verwickelte krumme Linie ist es, die der in seinem Epicykel einhergehende Planet in der That im Weltraume beschreibt! Und dieser verworrenen Linie voll Knoten und Schlingen ungeachtet soll derselbe Planet doch täglich einmal mit allen Fixsternen in derselben Zeit um die Erde laufen! — Darf man sich noch verwundern, daß die Alten, vor der Komplikation aller dieser so wunderbar in einander verschlungenen Bewegungen selbst zurückschreckend, endlich auf den Einfall gerieten, jedem Planeten eine höhere Intelligenz — einen geistigen Führer — zuzuordnen, der ihn, damit er sich auf seinen labyrinthischen Bahnen nicht verirre,

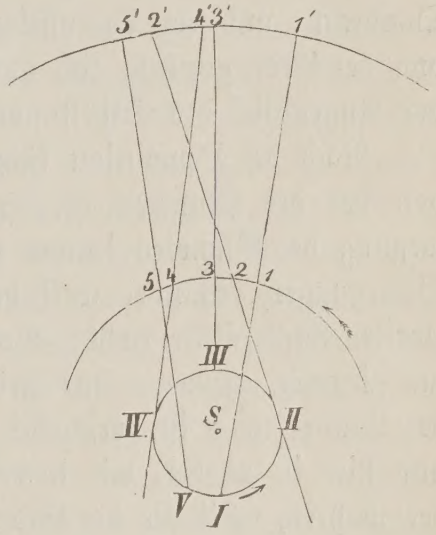
mit unsichtbarer Hand durch die Himmel steuern mußte, und daß Alphons X. von Kastilien, als er sich in das Studium dieses verworrenen Systemes vertiefte, einmal ausgerufen haben soll: Si a principio creationis humanae Dei altissimi consilio interfuissem, nonnulla melius ordinatiusque condita fuisse. Und trotzdem kannten die Alten nur die größeren Ungleichheiten der Planeten, die sich bis auf Grade beliefen. Was würden sie gethan haben, wenn sie auch die unzähligen Anomalieen, die erst unsere genauen Instrumente kennen gelehrt haben, wenn sie die tausend kleineren Perturbationen, welche die Planeten unter einander bewirken, auf dieselbe Weise hätten darstellen wollen!

§ 69. (Kopernikanisches Planetensystem.) Dies war der Zustand des erhabensten Teiles der Naturlehre von den ältesten Zeiten, die wir kennen, bis zur Mitte des 16. Jahrhunderts unserer Zeitrechnung, bis zu Kopernikus, wie Nikolaus Kopernik der Sitte jener Zeit gemäß seinen Namen latinisierte. Zwar fehlte es schon unter den älteren Griechen nicht an Männern, die freien Blicks und ungefesselt von den verjährten Vorurteilen der Menge die Wahrheit ahnten, worüber wir neuerlich von Schiaparelli wichtige Aufklärungen erhielten. So hatten sich schon Philolaus (450 v. Chr.) und nach ihm Plato für eine Rotation der Erde ausgesprochen, Heraklides der Pontiker die Erde ausdrücklich um ihre Achse, Merkur und Venus sich um die Sonne drehen lassen, Aristarch von Samos sich die Sonne im Centrum der Erdbahn und der Planetenbahnen überhaupt gedacht, die Jahreszeiten durch Umdrehung der Erde um eine gegen die Ekliptik geneigte Achse zu erklären versucht und die Erdbahn als gegen die Entfernung der Fixsterne verschwindend angenommen. Aber diese Philosophen konnten ihre glücklichen Ideeen nicht genügend begründen, daher sie auch mit denselben keinen Eingang fanden. Wir finden vom Anfange unserer Zeitrechnung bis zum 15. Jahrhundert nur noch Spuren der richtigen Ansichten bei den Indiern, denen sie um das Jahr 500 n. Chr. über Ägypten zugekommen sein mögen, oder bei einzelnen hervorragenden Geistern; — im allgemeinen aber waren jene Ideeen vollkommen verschollen, bis Kopernikus dieselben erfaßte, wie es scheint, ohne auch nur die Quellen zu kennen, in denen sie eigentlich schon angedeutet waren. Er pflegte die neue Lehre in seinem Geiste mit unermüdlicher Sorgfalt beinahe durch sein ganzes siebzigjähriges Leben, und nicht zufrieden, sie in seinem Werke ‚De revolutionibus orbium coelestium', Norimb. 1543, das kurz vor seinem Tode erschien, mit aller Vorliebe, die er für sie hegte, auszubilden, suchte er sie auch durch Vergleichungen mit dem Himmel, durch unmittelbare Beobachtungen zu beweisen und sie so, nicht wie jene als einen philosophischen Satz, sondern als eine durch Rechnung und Beobachtung erwiesene Wahrheit hinzustellen. Wo jene Philosophen des Altertums sagten, es könnte wohl so sein, da zeigte Kopernikus, daß es so sein muß, und gab zugleich die Gründe dieser Notwendigkeit. Auch gehörte eine seltene Klugheit und selbst ein hoher Mut dazu, der allgemeinen, seit Jahrtausenden herrschenden Meinung entgegenzutreten und sich den Gefahren

auszusetzen oder sie geschickt zu umgehen, denen ein Jahrhundert später sein großer Nachfolger Galilei auf derselben Bahn unterlegen ist. Daher Kepler in Beziehung auf die Vorurteile, die Kopernikus zu bekämpfen hatte, von ihm sagte: Vir fuit maximi ingenii et, quod in hoc exercitio magni momenti est, animo liber.

Nach seinem System ruht die Sonne in der Mitte der Planetenwelt, und um sie bewegen sich in immer größeren concentrischen Kreisen zunächst Merkur, dann Venus, die Erde, Mars, Jupiter und Saturn, — denn die übrigen Planeten waren ihm noch unbekannt. Die Bewegungen aller dieser Planeten um die Sonne gehen sämtlich in der Richtung von West gen Ost vor sich, während zugleich die Erde, von dem in 27 Tagen sich um sie bewegenden Mond begleitet, in derselben Richtung sich täglich um ihre gegen die Ekliptik oder gegen die Ebene der jährlichen Bahn der Erde schief gestellte Achse dreht und dadurch die Abwechslung des Tags und der Nacht sowohl als auch die der Jahreszeiten erzeugt, wie wir bereits oben (Kapitel IV) gesehen haben. Der eigentliche Fixsternhimmel aber erfreut sich vollkommener Ruhe, und wenn wir unsere eigene Bewegung an ihm nicht erkennen, so rührt das von seiner enormen Entfernung her.

Fig. 26.



Diese Darstellung ist so einfach, daß sie nur gehört zu werden braucht, um auch sogleich verstanden zu werden, und daß sie daher auch zu ihrer weitern Erläuterung keiner eigenen Zeichnung bedürfen wird. Sehen wir dafür, ob sich durch sie jene sonderbaren Bewegungen der Planeten, die den Alten so viele Mühe machten, ebenso leicht erklären lassen.

Sei S (Fig. 26) der Mittelpunkt der Sonne und zugleich der Mittelpunkt der beiden Kreise I, II, III . . und 1, 2, 3 . ., in deren erstem die Erde und in deren zweitem irgend ein oberer Planet sich um die Sonne gleichförmig gegen Osten und so bewegen soll, daß für dieselben Augenblicke, da die Erde in dem Punkte I oder II . . ist, der Planet den Punkt 1 oder 2 . . seiner Bahn einnehme. Wenn die Erde bald nach der Konjunktion des Planeten mit der Sonne in I ist, so sieht sie den Planeten 1 an der Sphäre des Himmels bei dem Punkte 1', und die scheinbare direkte Bewegung des Planeten erscheint hier, nahe bei der Konjunktion, sehr groß, weil sie die Summe der 2 wahren Bewegungen des Planeten und der Erde ist, von denen jene gegen die linke, diese aber gegen die rechte Seite gerichtet ist. Kommt in einiger Zeit darauf die Erde nach II und der Planet in seiner Bahn nach 2 oder in die erste Quadratur, so daß der Winkel S II 2 ein rechter wird, so geht die Richtung der Bewegung der Erde jetzt gerade auf den Planeten zu; die scheinbare Bewegung des Planeten

wird jetzt durch die wahre der Erde weder vergrößert noch verkleinert, und der Planet 2 wird, von der Erde gesehen, am Himmel in dem Punkte 2′ erscheinen, viel weiter gen Ost als in der Konjunktion.

Nach der Quadratur kommt die Richtung der Bewegung der Erde derjenigen des Planeten immer näher; sie gehen beide immer mehr nach einer Seite, und die scheinbare Bewegung des Planeten wird also jetzt durch die Bewegung der Erde immer mehr verkleinert werden. Zur Zeit der Opposition, wo die Erde in III und der Planet in 3, der Sonne gegenüber ist, sind die wahren Bewegungen beide senkrecht auf die Gesichtslinie S III 3 und gegen Ost gerichtet; hier wird also die scheinbare Bewegung des Planeten genau gleich der Differenz der beiden wahren Bewegungen sein, und da die wahre Bewegung der Erde, als des der Sonne nähern Körpers, größer ist als die des Planeten, so wird hier die scheinbare Bewegung des Planeten retrograd, und zwar am schnellsten retrograd sein, daher auch der Planet, von der Erde gesehen, in 3′, stark westlich hinter 2′ zurückgerückt erscheint. Es muß daher irgendwo zwischen II und III, zwischen der ersten Quadratur und der Opposition, einen Augenblick gegeben haben, wo der Planet, von der Erde gesehen, sich am Himmel gar nicht zu bewegen schien, und dies war der Augenblick des Stillstandes.

Nach der Opposition fängt die Bewegung der Erde an, sich wieder allmählich von der des Planeten weg zu krümmen, wodurch die scheinbar retrograde Bewegung des Planeten immer mehr verringert wird, bis endlich wieder beide wahre Bewegungen einander aufheben und der Planet, von der Erde gesehen, zum zweiten Male stille steht. Von da wird seine scheinbare Bewegung wieder direkt und immer größer. Zur Zeit der zweiten Quadratur, wo die Erde in IV und der Planet in 4 ist, erscheint der letzte in 4′ etwas weiter gegen Ost vorgerückt, und hier ist wieder, wie in der ersten Quadratur, seine scheinbare Bewegung gleich der wahren, weil die der Erde, die gerade vom Planeten weg gerichtet ist, keinen Einfluß auf sie äußern kann. Nach dieser Quadratur wächst die direkte scheinbare Bewegung noch mehr, daher er auch, wenn die Erde in V und der Planet in 5 ist, noch weiter gen Ost in 5′ vorgerückt erscheint, bis er endlich wieder, wenn die Erde in der Mitte der von dem Planeten abgewendeten Hälfte ihrer Bahn oder in Konjunktion ist, die größte scheinbare direkte Bewegung erhält, und von da eine zweite, der eben angeführten ganz ähnliche, Periode seiner Bewegung beginnt.

Es wird kaum notwendig sein, dieselbe Erläuterung auch für die unteren Planeten zu wiederholen. Man wird sehr leicht die hier vorkommenden Erscheinungen durch zwei concentrische Kreise darstellen, von welchen der äußere die Bahn der Erde und der kleinere, innere, die des Planeten bezeichnet. Zur Zeit ihrer obern Konjunktion (§ 45), wo die Sonne zwischen ihnen und der Erde ist, sind die wahren Bewegungen des Planeten und der Erde nach entgegengesetzten Seiten gerichtet, daher hier die von der Erde gesehene oder scheinbare Bewegung direkt und am größten ist. Nach der obern Konjunktion neigt

sich die Richtung der wahren Bewegung des Planeten immer mehr gegen die Erde hin, oder seine scheinbare direkte Bewegung wird langsamer. Zur Zeit der größten östlichen Digression geht die Richtung seiner Bewegung oder die Tangente seiner Bahn gerade auf die Erde zu, und er scheint deshalb nunmehr ebensoviel auf die linke Seite zu rücken, als die Erde in ihrer Bahn rechts rückt. Nach diesem Momente fangen die wahren Bewegungen des Planeten und der Erde an, beide nach derselben, rechten Seite zu erfolgen, bis sie in der unteren Konjunktion einander genau parallel laufen. Da nun die Bewegung des Planeten, als des der Sonne näheren Körpers die größere ist, wird hier seine scheinbare Bewegung rückgängig, und zwar am raschesten rückgängig sein. Zwischen der größten östlichen Digression und der unteren Kulmination wird es folglich auch bei den unteren Planeten einen Punkt geben, wo sie stille zu stehen scheinen.

Nach der unteren Konjunktion erneuern sich in der andern Hälfte der Bahn dieselben Erscheinungen in umgekehrter Zeitfolge, bis der Planet wieder seine obere Zusammenkunft mit der Sonne erreicht.

Alles dies harmoniert mit den oben (§§ 59, 60) erwähnten und durch unmittelbare Beobachtungen gegebenen Phänomenen auf das genaueste. Wenn man den beiden concentrischen Kreisen die weiter unten in § 84 angeführten Halbmesser giebt, und in der Peripherie der Kreise die Orte des Planeten und der Erde nach den ebendaselbst mitgeteilten Umlaufszeiten einzeichnet, so findet man dadurch die Orte des Stillstandes und die Bogen des Rückgangs derselben genau an der Stelle, und genau von der Größe, welche ihnen diese Beobachtungen anweisen. Man sieht in einer solchen Zeichnung gleichsam auf den ersten Blick, warum die untern Planeten immer in der Nähe der Sonne sich aufhalten, und warum die Durchmesser der obern Planeten in der Opposition und die der untern in der untern Konjunktion am größten erscheinen, weil sie nämlich da zugleich in ihrer geringsten Entfernung von der Erde stehen. Ebenso stimmt diese Erklärung mit den Lichtphasen, die wir mit dem Fernrohre an den beiden untern Planeten beobachten, und die ganz den Abwechslungen der Lichtgestalten ähnlich sind, welche man an dem Monde bemerkt.

Überhaupt werden durch diese Anordnung alle jene so auffallenden Sonderbarkeiten der planetarischen Bewegungen, alle jene Veränderungen der Größe sowohl als der Richtung ihrer Bewegungen und der durch sie erzeugten Knoten und Schlingen ihrer scheinbaren Bahnen auf die natürlichste und einfachste Art erklärt. Die Planeten, samt der Erde, haben alle eine direkte Bewegung in Kreisen, deren gemeinschaftlicher Mittelpunkt die Sonne ist. Dieses ist die eigentliche Sachlage, und alles übrige ist bloß Täuschung, die aus der Bewegung der Erde entsteht. Das Ptolemäische System ist aus unförmlichen Stücken zusammengetragen und äußerst verwickelt, während das Kopernikanische im höchsten Grade einfach und symmetrisch erscheint: in jenem wuchsen die Schwierigkeiten mit der Schärfe der Beobachtungen, während in diesem jede neue Beobachtung, jede neue Entdeckung

auch zugleich eine neue Bestätigung der Wahrheit desselben ist, wie es denn z. B. durch die Entdeckung der Aberration des Lichtes Tausende von Sternen als Zeugen seiner Wahrheit erhalten hat. Auch gewann die Wissenschaft seit der Begründung dieses Systems eine ganz neue Gestalt und fand sich jetzt erst in den Stand gesetzt, ihrer Vollendung mit großen Schritten entgegenzueilen. Denn „so lange die Erde stille stand, mußte auch die Astronomie selbst stille stehen". Nun aber war plötzlich die so lange verschlossene Bahn geöffnet, und wo sonst nichts als Finsternis herrschte, verbreitete sich schnell das helle Licht der Wahrheit. Seit jener für immerwährende Zeiten denkwürdigen Epoche erzeugte eine Kenntnis, eine Entdeckung die andere, in stetem Fortgange bis auf unsere Tage; denn das ist das unterscheidende Kennzeichen der Wahrheit, daß sie nie allein und unfruchtbar dasteht, sondern wie ein Lichtstrahl die ganze Gegend um sich erleuchtet und andere Wahrheiten oft in ganzen Reihen als ihr Gefolge mit sich führt. Die neue Gestalt, welche die Wissenschaft durch jene Entdeckung erhalten hat, ist nicht eine von den vorübergehenden, die mit jedem Jahrhundert wechselt, und die vielleicht durch künftige Beobachtungen verdrängt, durch andere höhere Entdeckungen wieder verdunkelt zu werden fürchten darf: sie ist eine für alle Folgezeiten bleibende Gestalt, da es wohl unter allen unsern sogenannten menschlichen Wahrheiten kaum eine einzige geben mag, die so oft und so sorgfältig geprüft, die so von allen Seiten und seit mehr als 3 vollen Jahrhunderten durch so viele Tausende von Beobachtungen bestätigt wäre als eben jene Entdeckung.

§ 70. (Tycho's Planetensystem.) Eine Verbesserung des Kopernikanischen Systems versuchte ein halbes Jahrhundert nach der Bekanntmachung desselben Tycho de Brahe. Er konnte die nicht weiter zu bezweifelnde Bewegung der Planeten um die Sonne nicht verkennen, daher er auch Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn in immer größeren concentrischen Kreisen um die Sonne gehen ließ, welche letztere den Mittelpunkt aller dieser Kreise einnahm. Aber diese Sonne war nicht, wie bei Kopernikus, in Ruhe, sondern sie bewegte sich selbst in einem anderen Kreise, dessen Mittelpunkt die ruhende Erde einnahm. Er stellte also wieder, wie die Alten, die Erde in den Mittelpunkt des Weltalls und ließ um sie die Sonne gehen, welche letztere zugleich der bewegliche Mittelpunkt anderer Kreise war, in deren Peripherie die übrigen Planeten unmittelbar um die Sonne und durch diese mittelbar um die Erde sich bewegten.

Zur Aufstellung dieses Systemes scheinen Tycho de Brahe vorzüglich einige Einwürfe gegen die tägliche Rotation der Erde veranlaßt zu haben, die man damals noch nicht zu widerlegen verstand, so namentlich der Fall von Körpern aus größeren Höhen (§ 13); vielleicht auch religiöse Bedenken, da gerade zu seiner Zeit die neue Lehre vielfach als den Worten der Bibel widersprechend, also als ketzerisch verschrieen wurde. Tycho's System fand aber begreiflicherweise nirgends Anklang, so daß es schon nach kurzer Zeit ganz in Vergessenheit geriet.

§ 71. (Unvollkommenheit des Kopernikanischen Systemes.) Kopernikus hatte durch die Aufstellung seines Planetensystemes die seit den ältesten Zeiten allgemein angenommene und gleichsam geheiligte Lehre von der Ruhe der Erde im Mittelpunkte des Weltalls für immer zerstört und dadurch das große Hindernis weggeräumt, das bisher unsere wahre Erkenntnis des Himmels und alle eigentlichen Fortschritte der Wissenschaft unmöglich gemacht hatte. Er ist dadurch der Gründer oder — vielleicht besser — der eigentliche Veranlasser der neueren Astronomie geworden, aber ohne auch zugleich der Vater derselben zu sein, obschon man ihn oft genug so genannt hat. Denn unser gegenwärtiges System ist nicht das Kopernikanische, wie es uns sein Erfinder selbst in seinem Werke dargestellt hat. Es ist vielmehr sehr davon verschieden, und diese Verschiedenheit besteht nicht in kleinen Verbesserungen und Zusätzen, sondern in sehr wesentlichen Änderungen, obschon allerdings die vorzüglichste Idee, die von der täglichen Bewegung der Erde um sich selbst und der jährlichen um die Sonne, aber auch sonst nichts mehr, dem neuen Systeme ebenfalls zu Grunde liegt.

Kopernikus hatte uns gezeigt, daß die größere jener beiden Anomalieen, die wir bei den Bewegungen der Planeten bemerken, oder daß die sogenannte zweite Ungleichheit (§ 62) nicht den Planeten eigentümlich, sondern daß sie bloß scheinbar sei und ihren Grund in der Bewegung der Erde um die Sonne habe.

Allein die erste Ungleichheit (§ 61) ließ sich durch die von Kopernikus entdeckte Bewegung der Erde nicht darstellen. Diese Ungleichheit ist den Planeten eigentümlich und kein bloßer Schein, daher auch die wahre Ursache derselben in der Bewegung der Planeten selbst, nicht außer ihnen gesucht werden muß. Die Griechen nahmen zu deren Erklärung den excentrischen Kreis (§ 64) zu Hilfe, und diese Hypothese behielt Kopernikus bei, sowie er sich auch nicht von der kreisförmigen Gestalt der Planetenbahnen, welche die Griechen als die einzig mögliche erkannt haben wollten, losreißen konnte. Ihm mußte es genügen, den einen der beiden Hauptteile der alten Irrlehren gestürzt zu haben, den wichtigsten vielleicht, sicher aber den schädlichsten und gefährlichsten. Der zweite forderte genauere Kenntnisse der Erscheinungen, als ihm zu Gebote standen, aber nicht mehr jenen edeln Mut, mit welchem Kopernikus einem für unerschütterlich gehaltenen Irrtume und selbst dem täglichen Zeugnis der Sinne entgegengetreten war.

§ 72. (Erstes Gesetz Kepler's.) Kepler, ein Zeitgenosse Tycho's, erkannte mit seinem durchdringenden Geiste sofort die Wahrheit des Kopernikanischen Systemes, d. h. die Bewegung aller Planeten samt der Erde um die ruhende Sonne. Der Wunsch, diese Theorie noch fester zu begründen, veranlaßte ihn, dieselbe mit den für ihre Zeit vortrefflichen Beobachtungen Tycho's, d. h. unmittelbar mit dem Himmel selbst zu vergleichen, wodurch er nach zahlreichen und lange fortgesetzten mühsamen Rechnungen die Überzeugung gewann, daß beide nicht in dem Grade übereinstimmten, wie man es von Tycho's Beobachtungen erwarten konnte.

Kopernikus hatte nämlich, wie oben erwähnt wurde, durch sein System

nur die zweite Ungleichheit (§ 62) der planetarischen Bewegung auf eine solche Weise erklärt, daß daran nicht weiter gezweifelt, und diese Sache für alle künftigen Zeiten als völlig abgethan betrachtet werden konnte. Zur Erklärung der ersten Ungleichheit hatte er aber die excentrischen Kreise der Alten beibehalten. Durch diese konnten sie allerdings die Veränderungen der Geschwindigkeit darstellen, so weit es die unvollkommenen Beobachtungen jener Zeit erforderten: es entging ihnen aber dabei ein Umstand, den sie freilich höchstens beim Monde hätten bemerken können, welcher unmittelbar darthut, daß ihre Erklärung der ersten Ungleichheit durch den excentrischen Kreis unrichtig sein müsse.

Die größte stündliche Bewegung des Mondes ist nämlich 38·4′, und für diese Zeit beobachtet man auch den größten scheinbaren Durchmesser desselben gleich 33·5′. Nach einer halben Revolution des Mondes, während welcher diese beiden Größen immer abnehmen, bemerkt man die kleinste stündliche Bewegung zu 29·5′ und zugleich den kleinsten Durchmesser zu 29·4′. Da uns nun dieselben Größen, wenn sie uns näher gebracht werden, unter einem größern Winkel erscheinen und umgekehrt, so glaubten die Griechen dadurch auch sofort jene Erscheinung erklären zu können. Sie nahmen nämlich an, daß die Erde außer dem Mittelpunkte der kreisförmigen Mondbahn liege, und daß der Mond, der um den wahren Mittelpunkt dieses Kreises in immerwährender gleichförmiger Bewegung einhergeht, zur Zeit seiner größten scheinbaren Geschwindigkeit, die zugleich die Zeit seines größten scheinbaren Durchmessers ist, in demjenigen Punkte seiner Bahn sei, wo er der Erde am nächsten steht, während er, nach einer halben Revolution, zur Zeit seiner kleinsten Geschwindigkeit und seines kleinsten Durchmessers, in dem von der Erde entferntesten Punkte seiner Bahn stehe, wie wir dies alles bereits oben (§ 64) gesagt haben. Man nannte diese beiden Punkte die Apsiden der Mondbahn, und zwar jenen, wo der Mond der Erde am nächsten steht, das Perigäum (Erdnähe) und den ihm entgegengesetzten das Apogäum (Erdferne) des Mondes.

Wenn aber diese beiden Erscheinungen, nämlich die Veränderung der täglichen Geschwindigkeit und die des Durchmessers des Mondes, bloß von der Veränderung der Distanz des Mondes von der Erde kommen sollen, so müßten sich jene beiden Extreme der Geschwindigkeit sowohl als auch diese Extreme der Durchmesser, beide zugleich wie die größte und kleinste Distanz des Mondes von der Erde verhalten. Halten wir uns nun bloß an die Geschwindigkeiten, so ist ihr Verhältnis 38·4:29·5 = 1·30, und dies soll daher auch das Verhältnis der größten und kleinsten Distanz des Mondes von der Erde in seinem excentrischen Kreise sein. Dasselbe muß nun auch, wenn anders jene Hypothese richtig ist, aus dem Verhältnis der beiden Durchmesser folgen. Allein dies Verhältnis ist 33·5:29·4 = 1·14, also ein ganz anderes als zuvor, daher auch jene Voraussetzung unrichtig. Die beobachteten Veränderungen der Geschwindigkeiten des Mondes sind also nicht bloß scheinbar,

sie kommen nicht bloß von den verschiedenen Distanzen des Mondes, sondern sie sind zum Teil wenigstens wirklich vorhanden.

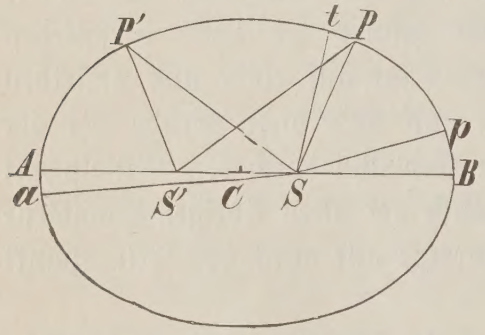
Dasselbe läßt sich auch bei der Sonne bemerken, deren Bewegung um die Erde ebenfalls sehr einfach ist, da sie, so wie der Mond, in einem größten Kreise des Himmels um uns zu gehen scheint. Die größte tägliche Bewegung der Sonne in Länge beträgt 61·2′ und zu dieser Zeit, gegen Ende des Dezember, hat auch der scheinbare Durchmesser der Sonne seinen größten Wert von 32·6′. Ein halbes Jahr später, in den ersten Tagen des Juli, haben diese beiden Größen ihren kleinsten Wert, indem dann die tägliche Geschwindigkeit 57·2′ und der Durchmesser nur 31·5′ beträgt. Das Verhältnis der beiden Geschwindigkeiten ist 1·070, und das der beiden Durchmesser ist 1·035, also beide wieder verschieden. — Diese beiden Punkte der Sonnenbahn, oder eigentlich der Erdbahn, werden wieder die Apsiden derselben genannt, und zwar jener, wo die Erde der Sonne am nächsten steht, das *Perihelium* (Sonnennähe) und der andere das *Aphelium* (Sonnenferne). Es ist dabei zu beachten, daß die Zeit, welche der Mond oder welche die Erde braucht, von einem Endpunkte ihrer Apsidenlinie zum anderen zu kommen, zu beiden Seiten dieser Linie immer *dieselbe* ist, daß diese beiden Punkte immer dieselbe Deklination, die eine nördlich, die andere südlich haben, und daß endlich ihre Rektascension immer um 180° verschieden ist, woraus folgt, daß diese beiden Punkte in der That auf einer und derselben geraden Linie, der Apsidenlinie, liegen müssen, und daß diese gerade bei der Mondbahn durch den Mittelpunkt der Erde, bei der Erdbahn durch den Mittelpunkt der Sonne gehen muß. Dasselbe bemerkt man auch bei allen übrigen Planetenbahnen, deren Apsidenlinien den Beobachtungen zufolge alle durch den Mittelpunkt der Sonne gehen.

Bei der Diskussion der Beobachtungen Tycho's erkannte nun Kepler sehr bald, daß die Verhältnisse der Extreme der Geschwindigkeiten und der Durchmesser keineswegs gleich sind. Bei dem Monde war dieses Verhältnis der Geschwindigkeiten 1·30 und das der Durchmesser 1·14, also das letztere bedeutend kleiner. Wenn man etwa zufällig verleitet werden sollte, die sogenannten Potenzen dieser Zahlen unter einander zu vergleichen, so würde man finden, daß das Quadrat der letzten Zahl oder daß das Quadrat von 1·14 = 1·30, also gleich der ersten Zahl ist. Ganz dasselbe hat auch bei der Sonne statt, wo das Verhältnis der Geschwindigkeiten 1·070 und das der Durchmesser 1·035 betrug, und wo auch das Quadrat der letzten Zahl 1·071 oder wieder gleich der ersten Zahl ist. — Um diese Entdeckung in Worten auszudrücken, würden wir also sagen: daß sich die Geschwindigkeiten der Planeten, nicht, wie die Alten glaubten, verkehrt wie ihre Entfernungen, sondern daß sie sich verkehrt *wie die Quadrate* ihrer Entfernungen von der Sonne verhalten, oder mit anderen Worten: daß das Produkt der Geschwindigkeit in das Quadrat der Entfernung bei jedem Planeten eine *beständige und unveränderliche Größe* sei. Vorläufig haben wir dieses Gesetz aber nur für die

beiden Extreme, Perihel und Aphel, bewiesen und müssen nun noch untersuchen, ob es auch für die andern Punkte der Bahn wahr ist. Dies kann nur durch weitere Beobachtungen in verschiedenen Zwischenpunkten geschehen. Von solchen ist bereits eine unzählige Menge nicht bloß an der Sonne und dem Monde, sondern an allen Planeten angestellt worden, und sie haben alle ohne Ausnahme gezeigt, daß dieses Gesetz zwischen den Geschwindigkeiten und den Entfernungen der Planeten von der Sonne für alle diese Himmelskörper und in allen Punkten ihrer Bahn statthabe. Wir werden sogleich sehen, daß dieses Gesetz, dessen Kenntnis wir Kepler verdanken, und das daher auch unter der Benennung des ersten Kepler'schen Gesetzes bekannt ist, für die ganze Theorie der Bewegung der Planeten von der größten Wichtigkeit ist. Es ist, wie weiter unten gezeigt werden wird, ein ganz allgemeines Gesetz, das nicht bloß den Planeten, sondern überhaupt allen Körpern zu Grunde liegt, die sich um einen festen Punkt, als Zentralpunkt ihrer Bahnen, bewegen.

§ 73. (Anderer Ausdruck des ersten Kepler'schen Gesetzes.) Es ist allgemein bekannt, daß die Oberfläche eines jeden geradlinigen Dreiecks gleich ist dem halben Produkte der Basis desselben in seine Höhe oder in die senkrechte Linie, welche man aus dem Scheitel des Dreiecks auf die Basis desselben herabgelassen hat. Nun kann (Fig. 27) das Dreieck StP ohne allen merklichen Fehler als ein geradliniges Dreieck angesehen werden, wenn man den Winkel PSt sehr klein annimmt. Die Seite Pt ist zwar eigentlich eine krumme Linie; aber wenn die beiden Endpunkte P und t nur recht nahe an einander rücken, so wird die Krümmung dieser Seite immer unmerklicher werden und endlich selbst für jede auch noch so genaue Betrachtung verschwinden. Nennt man nun die Entfernung des Planeten von der Sonne SP = r und den kleinen Winkel PSt = v, so ist die Länge des auf die Seite St mit dem Halbmesser SP = r gefällten Kreisbogens bekanntlich rv. Dieser Kreisbogen kann als Höhe des Dreiecks unter Annahme der Seite St als Basis angesehen werden, und da St ohne merklichen Fehler SP oder r gleich ist, so wird die Fläche des Dreiecks $^1/_2$ rrv sein. Dieses letzte Produkt ist aber nach dem ersten Kepler'schen Gesetze in allen planetarischen Bewegungen eine konstante Größe; also ist die Fläche, welche der Radius Vektor der Planeten in jeder sehr kleinen Zeit beschreibt, ebenfalls eine solche konstante Größe.

Fig. 27.



Die Planeten bewegen sich demnach um die Sonne so, daß in jedem Punkte ihrer Bahnen die Flächen BpS, PtS, AaS . . , welche der Radius Vektor während eines bestimmten Zeitteiles beschreibt, immer von derselben Größe sind; man wird daher jenen Satz auch kurz so ausdrücken können: Die vom

Leitstrahle beschriebenen Flächen BSP, BSP' . . verhalten sich wie die Zeiten, in welchen sie beschrieben werden. Dieser Satz ist, wie man sieht, eine unmittelbare Folge des ersten Kepler'schen Gesetzes, oder er ist vielmehr dieses Gesetz selbst, nur anders ausgedrückt. Auch hat es Kepler in dieser zweiten Gestalt bekannt gemacht, unter welcher es in die Wissenschaft übergegangen ist.

§ 74. (Untersuchung der wahren krummen Linie der Planetenbahnen.) Indem also Kepler die Beobachtungen Tycho's mit der Hypothese des Kopernikus verglich, nach welcher alle Planeten in excentrischen Kreisen um die Sonne gehen, und indem er fand, daß sich diese Beobachtungen durch jene Hypothese nicht mit der erforderlichen Genauigkeit darstellen ließen, war er gleichsam gezwungen, irgend eine schickliche Änderung jenes Systems vorzunehmen, um dadurch jene Übereinstimmung zu erhalten. Er untersuchte daher, welche krumme Linie statt der excentrischen Kreise angenommen werden müßte, um Tycho's Beobachtungen darzustellen, und ging mit Kraft und Ausdauer an sein für jene Zeiten großes und mit vielen Schwierigkeiten verbundenes Werk. Es ist hier nicht der Ort, die Leser durch alle die Labyrinthe von Schlüssen und Rechnungen zu führen, die Kepler durchwandern mußte, um seinen Zweck zu erreichen. Er teilte uns die Resultate dieser Arbeiten in seinem Werke: Astronomia nova de motibus stellae Martis, Pragae 1609 mit, und die Leser mögen in diesem Buche selbst Gelegenheit finden, den unverdrossenen Mut, die unermüdliche Geduld und den immer treffenden Scharfblick zu bewundern, mit welchem er sich durch die weitläufigen und verwickelten Rechnungen durchwindet, und selbst die gute Laune und die lebhaften Witzspiele zu bemerken, mit welchen er seinen von so anstrengenden Arbeiten oft ermüdeten Geist wieder aufzuheitern suchte. Er sagt selbst an einer Stelle dieses Werkes: „Wem das Durchlesen dieser mühevollen Rechnungen Langweile macht, der mag immerhin Mitleid mit mir haben, der ich sie wenigstens 70mal wiederholen mußte, während er sie nur einmal lesen darf." Und eine einzige dieser Rechnungen nimmt volle 10 Folio-Seiten ein! — Hier wird es genug sein, den Weg zu zeigen, den er ging, oder vielmehr, den er hätte gehen können, um sein Ziel mit dem wenigsten Aufwand von Zeit und Mühe zu erreichen.

Wenn also die Planetenbahnen fernerhin keine Kreise mehr sein konnten, welche andere krumme Linie sollte man substituieren? — Auch diese Frage konnte nur durch unmittelbare Beobachtungen entschieden werden. Es handelte sich dabei vorzüglich um eine größere Anzahl von Entfernungen irgend eines Planeten von der Sonne in verschiedenen Punkten seiner Bahn. Kannte man diese Entfernungen, so ließ sich die Gestalt der Bahn auf dem Papiere verzeichnen, und dann konnte man zusehen, welcher Art die neue krumme Linie sein soll.

Aber woher sollte man eine solche Anzahl von Entfernungen nehmen? Die Beobachtungen Tychos's, die Kepler sonst so gut zu brauchen wußte, reichten dazu nicht hin. Nach vielen vergeblichen Versuchen bemerkte er endlich, daß das von ihm bereits gefundene erste Gesetz der planetarischen Bewegung auch zu jenem Zwecke die gehörigen Mittel darbot.

Nehmen wir dazu wieder die Sonne oder vielmehr die Erde, deren Bewegung sich für uns so einfach am Himmel darstellt, während die der andern Planeten noch durch die oben erwähnte zweite Ungleichheit, die bei der Erde ganz wegfällt, nur umsonst verwickelt wird. Die Astronomen haben von je her die Sonne mit großem Fleiße beobachtet, und Tycho war hinter ihnen nicht zurückgeblieben. In seinen Manuskripten fand Kepler eine große Anzahl von beobachteten Längen, häufig auch in zwei zunächst auf einander folgenden Mittagen, und dadurch war auch sofort die tägliche Änderung ihrer Länge oder die tägliche Geschwindigkeit der Sonne für diesen Punkt ihrer Bahn gegeben, und mehr bedurfte Kepler nicht, um daraus, wenn auch nicht die absolute Distanz, so doch die Verhältnisse dieser Distanzen unter einander abzuleiten.

Nach dem ersten Gesetze Kepler's ist nämlich das Produkt aus dem Quadrate der Distanz der Sonne von der Erde in die tägliche Bewegung für alle Punkte der Sonnenbahn eine konstante Größe. Da es sich bei unserer jetzigen Untersuchung aber nur um das Verhältnis und nicht um die absolute Größe der Distanzen handelt, können wir diese Konstante gleich der Einheit annehmen, und es ist dann einfach für jeden Punkt der Sonnenbahn die Distanz der Sonne von der Erde gleich der Einheit, dividiert durch die Quadratwurzel der täglichen Geschwindigkeit.

Betrachten wir nun mehrere dieser Punkte. Für das Perihelium, wo die Länge der Sonne, von der Erde gesehen, nahezu 279° ist, d. h. zu Ende des Dezember jedes Jahres, wurde die tägliche Geschwindigkeit der Sonne, wie bereits oben bemerkt, gleich 1·0194° beobachtet. Die Einheit, dividiert durch die Quadratwurzel dieser Zahl, giebt 0·990. Wir können also für diesen Punkt der Bahn, der der Erde am nächsten liegt, die Distanz der Sonne von der Erde gleich 0·990 annehmen. Zwar kennen wir dadurch noch nicht die wahre Distanz der Sonne für diese Zeit, weil wir noch nicht wissen, auf welche Einheit sich diese Zahl 0·990 bezieht. Aber diese Kenntnis ist uns auch hier nicht notwendig, da wir nur die Verhältnisse mehrerer solcher Distanzen suchen, denen allen dieselbe, wenngleich noch unbekannte Einheit zu Grunde liegt. Wir werden also mit irgend einem Maßstabe diese Distanz auf einer gegebenen Linie AB (Fig. 27) von irgend einem Punkte S derselben auftragen. Sei SB = 0·990 diese Distanz, so ist B ein Punkt der Erdbahn, und zwar der der Sonne S nächste Punkt oder das Perihelium dieser Bahn.

Nach etwa 60 Tagen, am 28. Februar, wurde die Länge der Sonne gleich 339°, also 60° größer, und zugleich die tägliche Geschwindigkeit derselben gleich 1·0025° beobachtet. Dies giebt nach dem ersten Kepler'schen Gesetze die Distanz der Sonne von der Erde gleich 0·999, also um 0·009 größer als zuvor. Man nehme also den Winkel BSP = 60° und trage auf dem Schenkel desselben die Linie SP = 0·999 auf, so wird P ein zweiter Punkt der Erdbahn sein.

Wieder nach 60 Tagen, gegen den 30. April, wo die Länge der Sonne

399° oder, was dasselbe ist, 39° beträgt, beobachtete man die tägliche Geschwindigkeit derselben zu 0·9694°, woraus die Distanz 1·016 folgt. Man nehme daher den Winkel $BSP' = 120°$ und trage mit demselben Maßstabe auf der Linie SP' die Distanz $SP' = 1·016$ auf, so ist P' ein dritter Punkt der Erdbahn.

Nach neuen 60 Tagen, am 2. Juli, ward die Länge der Sonne 99° und die tägliche Geschwindigkeit 0·9532° beobachtet, daher die Distanz der Sonne 1·024 ist. Da nun die Sonne seit der ersten Epoche volle 180° in Länge zurückgelegt hat, so wird man auf der ersten Linie selbst, aber auf der anderen Seite des Punktes S, die Linie $SA = 1·024$ nehmen, und A wird ein neuer Punkt der Erdbahn, das Aphelium derselben sein.

Setzt man dieses Verfahren noch weiter für die Sonnenlängen von 159°, 219° und 279° fort, so findet man dieselben Geschwindigkeiten, also auch dieselben Distanzen wieder, die wir bereits für die Längen von 39°, 339° und 279° gefunden haben, zum Zeichen, daß die gesuchte krumme Linie durch die Gerade ASB in zwei gleiche Teile geteilt wird. Um diese Kurve mit größerer Genauigkeit verzeichnen zu können, wird man mehrere Punkte derselben auf die angezeigte Weise, z. B. für Zeitunterschiede von 10 oder 5 Tagen bestimmen und dann alle diese Punkte durch eine krumme Linie vereinigen, wodurch man eine getreue Abbildung der Erdbahn im kleinen erhält.

Die ovale, in der Richtung der Apsidenlinie verlängerte Gestalt dieser Kurve erinnert sofort an diejenige krumme Linie, die unter der Benennung Ellipse allgemein bekannt ist, und auf die daher jeder gleichsam von selbst geführt wird. Eine genauere Betrachtung derselben zeigt in der That, daß diese Vermutung vollkommen begründet ist.

§ 75. (Eigenschaften der Ellipse.) Seien S und S' (Fig. 27) zwei feste Punkte in einer Ebene, an welche man die zwei Enden eines biegsamen, unausdehnbaren Fadens befestigt, dessen Länge größer als die Distanz SS' ist. Wenn man diesen Faden mit Hilfe eines Stiftes, z. B. der Spitze P einer Bleifeder spannt und diese Spitze, bei immer gespanntem Faden, in jener Ebene um die Linie SS' führt, so wird man dadurch eine krumme Linie beschreiben, welche die Eigenschaft hat, daß für alle Punkte P ihrer Peripherie die Summe der beiden Teile SP und S'P des Fadens oder die Summe der beiden Distanzen SP und SP' immer dieselbe ist. Unter diesen Punkten sind vorzüglich zwei merkwürdig, nämlich die Punkte B und A, die in der Verlängerung der Linie SS' liegen, welche jene zwei fixen Punkte verbindet. Ist der beschreibende Stift in B, so liegt ein Teil des Fadens über der Linie S'B und der andere über SB, er liegt also über SB doppelt, und die Distanz von S' nach B ist gleich der Länge des Fadens weniger diesem Stücke SB. Kommt dann der beschreibende Stift nach A, so liegt wieder ein Teil des Fadens auf der Linie SA und der andere auf S'A; er liegt also hier über S'A doppelt, und die Distanz von S nach A ist gleich der Länge des Fadens weniger diesem Stücke S'A. Da aber diese beiden

Positionen des Stiftes in nichts als in der Lage desselben verschieden sind, indem er einmal rechts und dann links von SS' stand, so müssen auch die beiden Stücke SB und S'A, wo der Faden in den beiden Fällen doppelt lag, einander gleich sein.

Die krumme Linie, welche auf diese Art von dem Stifte beschrieben wird, nennt man eine Ellipse. Man sieht, daß sie einem Kreise desto näher kommt, je näher die beiden fixen Punkte S und S' an einander genommen werden. Versetzt man endlich diese beiden Punkte S und S' in die Mitte C der Linie SS', so geht die Ellipse ganz in einen Kreis über, weil dann die beiden Distanzen PS und PS' für alle Punkte P immer dieselben, und zwar gleich der Hälfte des Fadens oder gleich CP, d. h. gleich dem Halbmesser des Kreises werden, den man sich nun statt der Ellipse zu denken hat.

Man nennt in der Ellipse jene beiden fixen Punkte S und S' die Brennpunkte, die erwähnten äußersten Punkte B und A aber die Scheitel und ihre gegenseitige Distanz AB endlich die große Achse der Ellipse. Teilt man die Linie S'S oder, was dasselbe ist, die Linie AB in dem Punkte C in zwei gleiche Teile, so heißt C der Mittelpunkt und CS = CS' die Excentrizität. Errichtet man durch diesen Punkt C eine auf die große Achse AB senkrechte Linie, so ist der Teil derselben, der zu beiden Seiten von AB durch die krumme Linie begrenzt wird, die kleine Achse der Ellipse. Da für die Endpunkte dieser kleinen Achse die beiden Teile SP und S'P einander gleich, also auch jeder dieser Teile gleich der halben großen Achse, so ist die Summe der Quadrate der Excentrizität und der halben kleinen Achse gleich dem Quadrate der halben großen Achse, so daß, wenn 2 von diesen 3 Größen bekannt sind, auch sofort die dritte derselben gegeben ist. Die Distanz PS oder PS' eines jeden Punktes P der Ellipse von einem der beiden Brennpunkte derselben nennt man den Radius Vektor oder Leitstrahl dieses Punktes.

Die Linie SB heißt die kürzeste Entfernung oder die Periheldistanz und die halbe große Achse AC die mittlere Entfernung des Planeten von der Sonne.

§ 76. (Zweites Gesetz Kepler's.) Kepler hatte also gefunden, daß die jährliche Bahn der Erde eine Ellipse ist, in deren einem Brennpunkte der Mittelpunkt der Sonne liegt. Es war wohl sehr natürlich, zu vermuten, daß dasselbe auch bei den übrigen Planeten nicht anders sein werde, und diese Vermutung wurde bald durch die darüber angestellten Rechnungen vollkommen bestätigt. Dadurch war das zweite Gesetz Kepler's gefunden, nach welchem sich alle Planeten in Ellipsen bewegen, deren einen, allen diesen Bahnen gemeinschaftlichen Brennpunkt der Mittelpunkt der Sonne einnimmt.

In dem neuen, von Kepler entdeckten Planetensysteme fallen also die Kreise und mit ihnen die gleichförmigen Bewegungen der Planeten gänzlich weg. Jeder Planet bewegt sich, wie wir oben bei der Erde gesehen haben, am schnellsten in seinem Perihelium B, wo er der Sonne S am nächsten ist. Von diesem Punkte an entfernt sich der Planet immer weiter von der Sonne,

während seine Geschwindigkeit regelmäßig wie verkehrt das Quadrat dieser Entfernung abnimmt, bis er endlich, im Aphelium A, am weitesten von ihr absteht und zugleich seine kleinste Geschwindigkeit hat. Nach dem Durchgange durch sein Aphelium nimmt die Entfernung von der Sonne wieder ebenso ab, und seine Geschwindigkeit ebenso zu, wie jene in der ersten Hälfte seiner Bahn zu- und diese abgenommen hat, bis er endlich, nachdem er seinen ganzen Umlauf vollendet, mit derselben Geschwindigkeit wieder in seinem Perihelium ankommt, mit welcher er von demselben ausging.

§ 77. (Drittes Gesetz Kepler's.) Die zwei eben besprochenen Entdeckungen Kepler's lehrten uns, daß alle Planeten, also auch die Erde, sich in Ellipsen bewegen, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht, und zeigten uns zugleich das Gesetz, nach welchem sich jeder dieser Himmelskörper in seiner elliptischen Bahn bewegt, indem nämlich die Flächenräume, welche sein Radius Vektor durchläuft, den zugehörigen Zeiten proportional sind oder mit der Zeit gleichförmig wachsen.

Beide Gesetze betreffen, wie man sieht, jeden Planeten für sich, indem sie in jedem Punkte seiner Bahn die Krümmung des Bogens und die Geschwindigkeit des Planeten bestimmen. Nachdem aber Kepler einmal die Regeln gefunden hatte, denen die Bewegung eines jeden Planeten, einzeln betrachtet, unterworfen ist, war ihm auch noch die Existenz eines anderen Gesetzes sehr wahrscheinlich, welches für alle Planeten zugleich gehörte, und von welchem diejenige Stellung und Entfernung derselben abhängt, die wir in der That an ihnen bemerken. Er sah bald, daß sie im allgemeinen desto langsamer um die Sonne gehen, je weiter sie von ihr entfernt sind. So ist z. B. Mars nahe doppelt so weit als Venus von der Sonne entfernt, und wenn beide dieselbe mittlere Geschwindigkeit hätten, so würde auch die Umlaufszeit des Mars nahe das Doppelte von jener der Venus sein. Aber sie ist nahe dreimal größer, woraus sofort folgt, daß Mars sich wirklich langsamer bewegt als die der Sonne viel nähere Venus. Durch seine früheren glücklichen Entdeckungen aufgemuntert, suchte er daher auch, von einer Art von Vorgefühl getrieben, das Verhältnis, welches zwischen den Umlaufszeiten und den großen Achsen der Bahnen statthaben soll. Und er suchte volle 17 Jahre, ohne zu ermüden und ohne die Idee aufzugeben, welche er von der Existenz eines solchen Verhältnisses einmal gefaßt hatte.

Schon in einem seiner früheren Werke, in dem „Mysterium cosmographicum", das im Jahre 1596 zu Graz erschien, bemühte er sich, die sogenannten harmonischen Verhältnisse, mit welchen bereits die alten Pythagoräer so viel gespielt hatten, auf die Distanzen der Planeten von der Sonne anzuwenden. Später wollte er ihnen in einem anderen Werke „Harmonice mundi, Linz 1619" die verschiedenen Längen der Saiten anpassen, welche in der Tonlehre eine Terz, Quart, Oktav u. s. w. geben, fand indessen diese Idee ebenso wenig als die vorhergehende mit der Natur übereinstimmend. In dem letzteren Werke suchte

er auch die sogenannten platonischen Körper, den Kubus, das Tetraeder u. s. f. mit den Zwischenräumen der Planetenbahnen zu vergleichen. Aber auch diese wollten nicht passen, obschon er sich lange genug mit ihnen geplagt hatte. Später verglich er, immer wieder auf seine frühere Mutmaßung zurückkommend, die verschiedenen Potenzen der Zahlen, welche die Umlaufszeiten und die großen Achsen bei den Planeten ausdrücken; aber auch hier konnte er nichts Genügendes finden, so daß er endlich nahe daran war, alle seine weiteren Spekulationen über diesen ihn schon so lange hinhaltenden Gegenstand gänzlich aufzugeben. Einige Tage nur nach dem letzerwähnten Versuche kam es ihm vor, als hätte er bei diesen Rechnungen, seiner Gewohnheit nach, sich von seiner Ungeduld verführen lassen, zu schnell gerechnet und sich auch wohl ganz verrechnet. Sogleich nahm er die Sache noch einmal vor, rechnete jetzt bedächtiger und fand bald, daß sein Verdacht gegen jene früheren Arbeiten nur zu gegründet war. Gleich die ersten Versuche zeigten ihm, daß er das so lange und so mühsam gesuchte Verhältnis endlich gefunden habe. Es war, wie er selbst in seiner „Harmonice mundi“ erzählt, am 15. Mai 1618, daß er die Freude hatte, seine 17 jährigen Bemühungen durch diese Entdeckung belohnt zu sehen. Er fand, daß sich die Quadrate der siderischen Umlaufszeiten der Planeten wie die Würfel der großen Achsen ihrer Bahnen verhalten, und dies ist das dritte und letzte der von ihm entdeckten Naturgesetze. Wir werden die Wichtigkeit derselben weiter unten kennen lernen; hier mag es genügen, zu bemerken, daß sie es sind, die allen Bewegungen der Planeten, auch denen der entferntesten Kometen um die Sonne sowie den Bewegungen der Satelliten um ihre Hauptplaneten zu Grunde liegen. Jahrtausende waren vorübergezogen, und diese Gesetze blieben dem ganzen Menschengeschechte unlesbar, obschon sie mit Feuerzügen auf dem gestirnten Himmel geschrieben standen, bis es endlich dem Scharfsinne und der unermüdlichen Geduld eines seltenen Mannes gelang, jene Charaktere zu entziffern und dadurch seinem eigenen Namen mit ebenso unvergänglichen Zügen an demselben Himmel ein Denkmal zu setzen, ein Denkmal, das dauern wird, wenn andere Monumente, von Erz und Stein, längst zu Staub geworden sein werden.

§ 78. (Charakteristik des Sonnensystemes.) Die Leser werden ohne unsere Erinnerung erwarten, daß in diesem ebenso einfachen als erhabenen Kodex des Himmels die in ihm enthaltenen Gesetze nicht der Willkür überlassen oder wie es wohl in so manchem anderen menschlichen Gesetzbuche der Fall ist, bloß durch einzelne Fälle entstanden und daher ohne weiteren Zusammenhang unter sich sein werden. Wir werden in der That später sehen, daß sie alle drei nur der Ausfluß eines einzigen, höchsten Gesetzes, des Gesetzes der allgemeinen Gravitation sind. Vorläufig wollen wir uns aber begnügen, noch eine Bemerkung über das dritte dieser Gesetze beizufügen. Nach demselben verhalten sich die Quadrate der Umlaufszeiten wie die Würfel der großen Achsen, oder es ist: $\frac{a^3}{S^2} = \frac{a'^3}{S'^2}$ wenn a

und a' die großen Achsen, und S und S' die Umlaufszeiten zweier Planeten bedeuten. Dies heißt mit anderen Worten, daß der Würfel der großen Halbachse, dividiert durch das Quadrat der Umlaufszeit, eine allen Planetenbahnen desselben Systems gemeinschaftliche beständige Größe ist, die sich leicht bestimmen läßt, da man sie nur für eine einzige dieser Bahnen zu kennen braucht. Ist aber $\frac{a^3}{S^2}$ für alle Planeten konstant, so ist es auch die Quadratwurzel: $\frac{a\sqrt{a}}{S}$ aus dieser Größe, und bleibt es, auch wenn man sie noch mit dem Umfange des Kreises (2π, § 6, Seite 32) multipliziert, was man ein für allemal thut, weil es für viele Rechnungen bequemer ist. Diese, um es nochmals hervorzuheben, allen Planeten und Kometen, die sich um die Sonne bewegen, eigentümliche Konstante, heißt deshalb auch die Charakteristik unseres Sonnensystemes, und wird gewöhnlich mit k bezeichnet. Nimmt man als Einheit der Längen die große Halbachse der Erdbahn, und als Einheit der Zeit den mittleren Tag, so ist aus den Bahnverhältnissen unserer Erde ($a = 1$, $S = 365{\cdot}25636$) berechnet $k = 0{\cdot}017202$.

Verlangt man diese Konstante für eine andere Längeneinheit, z. B. das Kilometer, und ein kürzeres Intervall, etwa eine Sekunde mittlerer Zeit, so hat man sie einerseits mit der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne in Kilometern, d. i. mit 148 636 000 zu multiplizieren, andererseits mit der Anzahl Sekunden, die ein Tag hat, nämlich 86 400 zu dividieren, und erhält so $k = 29{\cdot}59$.

Anders verhält es sich mit den Bewegungen derjenigen Gestirne, die sich um andere Centralkörper bewegen. So ist z. B. für die Satelliten Jupiters, die nicht um die Sonne, sondern um diesen, als ihren Hauptplaneten gehen, und die daher ein eigenes System bilden, die Charakteristik dieses Systems von der vorhergehenden des eigentlichen Sonnensystems ebenso verschieden wie die des Systems, welches unsere Erde mit ihrem Monde bildet. Aus dieser Ursache ist auch das dritte Gesetz Kepler's dasjenige, welches den eigentlichen Charakter des Planetensystemes ausdrückt, und durch welches alle Körper dieses Systems gleichsam zu einem besonderen Staate unter sich verbunden werden. Vermöge desselben sind die Planeten und Kometen, welche die Bevölkerung dieses Staates ausmachen, nicht mehr durch bloße Analogie, durch bloße Ähnlichkeit ihres äußeren Aussehens, sondern durch wesentliche Kennzeichen, durch wahre Familienzüge mit einander verbunden, und um sie alle schlingt sich eine Kette der Verwandtschaft und des innigsten Zusammenhanges, die sich von dem Mittelpunkte des großen Reiches bis an seine entferntesten Grenzen erstreckt. Dieses dritte Gesetz lehrt uns zugleich, daß die eigentliche Ursache der Bewegung aller jener Himmelskörper in der Sonne liegt, und daß diese Kraft der Sonne, oder wie wir jene Ursache sonst nennen mögen, für alle jene Körper ohne Ausnahme dieselbe sein muß. Sie wird zwar durch die Distanzen dieser Körper modifiziert, indem sie auf die näheren stärker einwirkt als auf die entfernteren; aber sie ist unabhängig

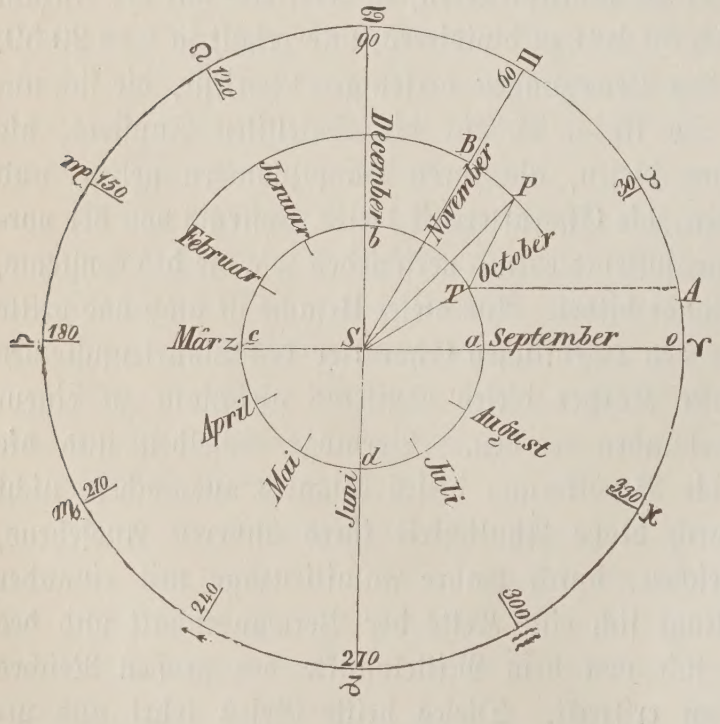
von der Verschiedenheit der Stoffe, aus welchen diese Körper selbst bestehen mögen. Diese Kraft muß daher sehr verschieden sein von den magnetischen, elektrischen oder chemischen Kräften, deren Äußerungen wir auf der Oberfläche der Erde zu beobachten Gelegenheit haben und so ganz verschieden finden, je nach der Beschaffenheit der Körper, auf die jene Kräfte wirken. Wenn unsere Erde durch irgend eine Macht plötzlich in die Region Jupiters geführt und dort dieselbe Richtung und Geschwindigkeit wie jener Planet erhalten würde, so würde sie auch fortan in derselben Zeit und in derselben Bahn wie Jupiter selbst um die Sonne laufen, also in gleicher Weise wie Jupiter von der Sonne angezogen werden.

Kapitel IX.

Bestimmung der Bahnelemente der Planeten und der Zeit.

§ 79. (Heliocentrischer und geocentrischer Ort der Planeten.) Da die Bewegung der Planeten, die, aus dem veränderlichen Standpunkt der Erde betrachtet, so äußerst verwickelt erscheint, aus dem wahren Centralpunkte aller Planetenbahnen, aus dem Mittelpunkte der Sonne, so einfach sich darstellt, so wird es zur nähern Kenntnis dieser Bewegungen sehr angemessen sein, eine Methode zu suchen, durch welche man den von der Erde gesehenen oder den durch unmittelbare Beobachtungen gegebenen geocentrischen Ort des Planeten in den von der Sonne gesehenen oder in den heliocentrischen Ort desselben verwandeln kann. Sei also S (Fig. 28) die Sonne, T die Erde und P der Planet. Ist SV, somit wegen der unendlichen Entfernung der Himmelssphäre auch die damit parallele TA die Frühlingsnachtgleichenlinie, so wird VST die heliocentrische Länge der Erde, VSP die heliocentrische Länge des Planeten und ATP die geocentrische Länge des Planeten sein. Zieht man endlich noch durch S die Linie SB parallel mit TP, so wird auch der Winkel VSB = ATP die geocentrische Länge des Planeten ausdrücken.

Fig. 28.



Man beschreibe nun mit dem größten Halbmesser, den z. B. die Ebene einer Tafel verträgt, aus dem Mittelpunkte S einen Kreis ♈♋♎♑, der die in Grade geteilte Ekliptik an der von der Sonne oder von der Erde unendlich weit entfernten Fläche des Himmels vorstellt. Aus demselben Mittelpunkte S beschreibe man mit den aus der Tafel am Ende des Werkes entnommenen Halbaxen als Halbmesser nach irgend einem Maßstabe die Bahn aTb der Erde und die Bahn PB des Planeten. Nehmen wir an, daß man für irgend eine Zeit, für welche der heliocentrische Ort ♈ST der Erde z. B. von 30° gegeben ist, durch eine unmittelbare Beobachtung die geocentrische Länge ATP des Planeten, die etwa 63° betragen mag, kennen gelernt habe. Sucht man dann die heliocentrische Länge des Planeten für dieselbe Zeit, so hat man in dem Punkte T die gerade Linie TP unter dem Winkel ATP = 63° zu ziehen, welche Linie die kreisförmige Bahn des Planeten in irgend einem Punkte P schneidet, und dieser Punkt P wird der gesuchte Ort des Planeten in seiner Bahn sein. Zieht man dann die Linie PS, so wird der Winkel ♈SP, hier nahe gleich 50° die gesuchte heliocentrische Länge des Planeten geben.

Ist aber umgekehrt für irgend eine Zeit die heliocentrische Länge der Erde 30° und die heliocentrische Länge des Planeten 50° gegeben, so kennt man dadurch die Lage der zwei Punkte T und P in den Bahnen dieser beiden Planeten. Verbindet man sie durch die gerade Linie TP, und zieht man durch S die ihr parallele Gerade SB, welche den äußersten Kreis der Zeichnung in dem Punkte 63° trifft, so erhellt, daß die gesuchte geocentrische Länge des Planeten 63° beträgt. Durch dieses Verfahren erhält man auch zugleich die Größe der Linie TP oder die Entfernung des Planeten von der Erde.

§ 80. (Neigung und Knoten der Planetenbahnen.) Wir haben bisher stillschweigend vorausgesetzt, daß die Planetenbahnen alle in der Ekliptik liegen, was der Wahrheit nicht gemäß ist. Sie liegen zwar in Ebenen, die sämtlich durch den Mittelpunkt der Sonne gehen; aber diese Ebenen sind, die eine mehr die andere weniger, gegen die Ebene der Ekliptik geneigt, und diese Neigung wird, wie für sich klar ist, auch den Ort des Himmels, an welchem man den Planeten von der Sonne oder von der Erde aus beobachtet, verändern, daher man auch auf sie Rücksicht nehmen muß.

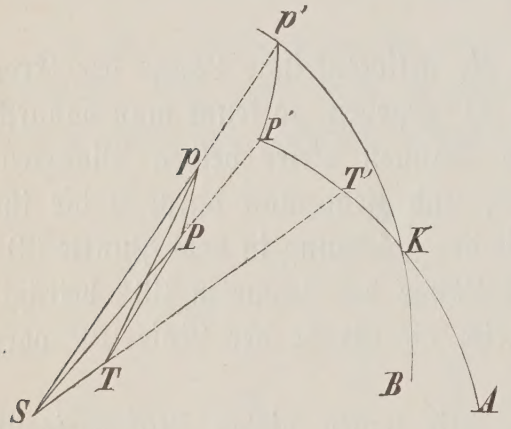
Man nennt die durch den Mittelpunkt der Sonne gehende gerade Linie, in welcher die Ebene der Planetenbahn die der Ekliptik schneidet, die Knotenlinie, und den einen Punkt derselben, wo sie, verlängert, die Sphäre des Himmels trifft und von wo der Planet sich gegen Norden erhebt, den aufsteigenden Knoten der Bahn, während der andere, entgegengesetzte, von dem der Planet unter die Ekliptik nach Süden geht, der niedersteigende Knoten heißt. Man pflegt diesen durch ☊ und jenen durch ☋ zu bezeichnen und die Lage dieser Punkte durch ihre Abstände vom Frühlingspunkte, also in Längen anzugeben. Zieht man dann durch irgend einen Punkt dieser Knotenlinie zwei auf dieselbe

senkrechte Gerade, von welchen die eine in der Ebene der Ekliptik und die andere in der Ebene der Planetenbahn liegt, so heißt der Winkel, welchen diese beiden Geraden mit einander bilden, die Neigung der Planetenbahn (Einl., § 3). Wir müssen daher Neigung der Bahn und Länge des Knotens ebenfalls kennen, oder durch Beobachtungen bestimmen, um das Problem aus dem geocentrischen Orte des Himmelskörpers den heliocentrischen desselben, oder umgekehrt abzuleiten, gehörig auflösen zu können.

Die Tafel am Ende des Werkes giebt unter anderem die Länge des aufsteigenden Knotens der Planetenbahnen und ihre Neigungen gegen die Ekliptik für die Zeiten der Epochen. Man findet so z. B. für Merkur Länge des aufsteigenden Knotens $46^0\,33'$, Neigung $7^0\,0'$, für Venus $75^0\,20'$ und $3^0\,24'$ u. s. w.

§ 81. (Länge des Planeten in der Bahn und in der Ekliptik, Breite und Argument der Breite.) Durch diese Neigungen der Planetenbahnen gegen die Ekliptik werden nun die vorhergehenden Auflösungen unserer Aufgabe etwas geändert. Wir wollen daher die Sache näher betrachten.

Fig. 29.



Zu diesem Zwecke sei wieder S (Fig. 29) die Sonne, T die Erde und p der Planet, der letztere irgendwo außer der Ekliptik, während Sonne und Erde immer in derselben liegen. Die Ebene der Ekliptik schneide erweitert die Fläche des Himmels in dem größten Kreise AKP', und die Ebene der Planetenbahn, die nach dem Vorhergehenden immer durch den Mittelpunkt der Sonne S geht, treffe die Himmelsfläche in dem größten Kreise BKp', so daß also der Durchschnittspunkt K beider Kreise der aufsteigende Knoten der Planetenbahn und der Winkel AKB, welchen beide Kreise mit einander bilden, die Neigung dieser Bahn gegen die Ekliptik ist.

Sei der Punkt A der Ekliptik der Frühlingspunkt, von welchem alle Längen in der Richtung AK oder von West gen Ost gezählt werden. Man nehme auf der Planetenbahn, rückwärts von K, den Bogen KB gleich dem Bogen KA, so wird dieser Bogen KA oder KB gleich der Länge des aufsteigenden Knotens der Bahn sein, die durch unsere Tafel für jede gegebene Zeit als bekannt angesehen werden kann. Wir wollen diese Länge des Knotens durch Ω und die Neigung der Bahn oder den Winkel $AKB = P'Kp'$ durch i bezeichnen.

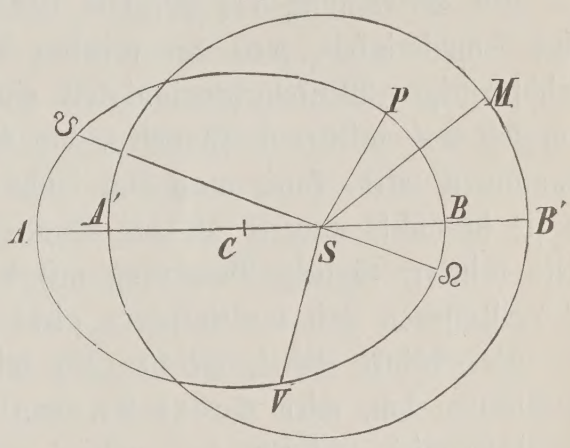
Dies vorausgesetzt, verlängern wir nun die geraden Linien ST und Sp, welche die Sonne mit der Erde und mit dem Planeten verbinden, bis sie der Fläche des Himmels, die erste in dem Punkte T' und die zweite in dem Punkte p', begegnen, so wird der Bogen AT' die Länge der Erde in der Ekliptik bezeichnen, und analog mit dieser Bezeichnung wird man den Bogen Bp' die Länge des

Planeten in der Bahn nennen. Zieht man noch durch den Punkt p' des Planetenortes einen größten, auf die Ekliptik senkrechten Kreis oder einen Breitenkreis p'P', der die Ekliptik in P' schneidet, so wird, der eingeführten Benennung gemäß (Einl., § 11), dieser senkrechte Bogen p'P' die Breite des Planeten und der Bogen AP' in der Ekliptik die eigentliche Länge des Planeten sein, die man auch, zum Unterschiede mit obiger Länge in der Bahn, die gleich Bp' war, die reduzierte Länge oder die Länge des Planeten in der Ekliptik heißt.

Man sieht von selbst, daß die Breite p'P' des Planeten unmittelbar von der Größe des Bogens Kp' der Bahn, der zwischen dem Ort p' des Planeten und zwischen dem aufsteigenden Knoten K enthalten ist, abhängt, daher auch dieser Bogen Kp' das Argument der Breite heißt. Man erhält dieses Argument der Breite, wenn man von der Länge Bp' des Planeten in der Bahn, die Länge des Knotens ☊ (§ 80) subtrahiert.

§ 82. (Berechnung des heliocentrischen Ortes der Planeten; mittlere und wahre Planeten.) Nach dem ersten Kepler'schen Gesetze (§ 73) wird die Fläche der Ellipse, in welcher ein Planet einhergeht, mit immer gleichbleibender Flächengeschwindigkeit durchlaufen. Dividiert man daher die Fläche der Ellipse, welche bekanntlich gleich ist dem vierten Teile des Produktes ihrer großen und kleinen Achse in die Ludolph'sche Zahl 3·14159 ..., durch die in Tagen ausgedrückte Umlaufszeit, so erhält man den vom Radius Vektor täglich durchstrichenen Flächenraum. Ist nun die Zeit des Durchganges des Planeten durch sein Perihel B gegeben, und sein Ort für irgend eine andere Zeit zu suchen, so hat man nur die tägliche Flächengeschwindigkeit mit der seit dem Periheldurchgange verflossenen Zeit zu multiplizieren, um den während dieser Zeit zurückgelegten elliptischen Sektor BSP (Fig. 30) zu erhalten. Ist aber diese Fläche BSP bekannt, so reduziert sich die Aufgabe, den Ort des Planeten für jede Zeit zu finden, auf das geometrische Problem, für jede gegebene Fläche BPS eines elliptischen Sektors sowohl den Winkel BSP als auch den Radius Vektor SP zu finden, welcher zu diesem Sektor gehört.

Fig. 30.



Die Auflösung des Problems in dieser Form ist allerdings ziemlich schwierig und weitläufig. Man profitiert deshalb in der Praxis von dem Umstande, daß die Excentrizitäten der Planetbahnen klein sind, daß diese Bahnen daher von Kreisen und die Bewegungen in denselben von der gleichförmigen wenig abweichen, um auf folgende einfachere Weise zum Ziele zu gelangen.

Man denke sich einen um den Brennpunkt S, in welchem sich die Sonne

befindet (Fig. 30), als Mittelpunkt beschriebenen Kreis B'MA', dessen Halbmesser SA' = SB' = SM, gleich der halben großen Achse CB = CA der Ellipse BPA ist. Diesen Kreis durchlaufe ein supponierter Planet gleichförmig in derselben Zeit, wie der wahre Planet in seiner elliptischen Bahn, und so, daß er mit demselben immer gleichzeitig durch die Apsidenlinie (§ 72) hindurchgeht. Wir dürfen dies annehmen: denn wenn beide Planeten, der wahre vom Perihel B und der supponierte von B' zu gleicher Zeit ausgehen, werden nach einem halben Umlaufe der erste im Aphel A, der zweite in A' stehen, also beide wieder gleichzeitig die Apsidenlinie passieren.

Hat nun nach einiger Zeit der supponierte Planet, den man seiner gleichförmigen Bewegung wegen zum Unterschiede von dem wirklichen oder wahren Planeten den *mittleren Planeten* nennt, den Winkel B'SM, der wahre hingegen den Winkel B'SP zurückgelegt, so kann man unser Problem auf die Bestimmung des Unterschiedes beider Winkel, d. h. auf die Bestimmung des Winkels MSP und des Radius Vektors SP aus dem Winkel B'SM zurückführen.

Die Berechnung des Winkels B'SM, der *mittlere Anomalie* heißt, hat keine Schwierigkeit, weil der mittlere Planet in seiner kreisförmigen Bahn mit gleichförmiger Winkelgeschwindigkeit einhergeht. Denn aus der gegebenen Umlaufszeit des mittleren Planeten, die mit der des wahren Planeten gleich angenommen wird, kann man sich leicht die mittlere tägliche Bewegung ableiten, da sie ja nichts anderes als der Quotient von 360° in die Umlaufszeit ist, und diese mittlere tägliche Bewegung mit der seit dem Durchgange durch den Punkt B' verflossenen Zeit multipliziert, giebt sofort die mittlere Anomalie B'SM.

Der Winkel BSP, welchen der wirkliche Planet in seiner elliptischen Bahn durchlaufen hat, wird *wahre Anomalie* genannt, und der Winkel MSP, d. h. der Unterschied zwischen der wahren und mittleren Anomalie: *Gleichung der Bahn*. Unser Problem ist daher darauf reduziert, aus der mittleren Anomalie die Gleichung der Bahn und den Radius Vektor zu ermitteln.

Auf die Methoden zur Berechnung dieser Größen können wir natürlich hier nicht eingehen, glaubten aber doch mindestens den Weg andeuten zu sollen, welchen man dabei einschlägt. Zur Ausführung dieser Rechnungen bedarf man der Excentrizität CS, oder bequemer des Verhältnisses der Excentrizität zur halben großen Achse CA, weil davon die Größe der Gleichung der Bahn und des Radius Vektors abhängt, ferner der Lage des Perihels. Denkt man sich zu diesem Zwecke wie oben (§ 81) in der Ebene der Bahn die Linie SV so gezogen, daß der Winkel VS☊ zwischen dieser und der Knotenlinie ♈☊ gleich wird der Länge des aufsteigenden Knotens ☊, so heißt der Winkel VSB Länge des Perihels, ferner VSM die *mittlere* und VSP die *wahre Länge* des Planeten in der Bahn.

Überblickt man alles bisher Gesagte, so sind zur Berechnung des Ortes eines Himmelskörpers sechs Elemente erforderlich: Neigung, Länge des Knotens, Länge des Perihels, Umlaufszeit oder große Achse, Excentrizität und Epoche. Davon

geben die beiden ersten Elemente die Lage der Bahnebene an, das dritte die Lage der Bahn selbst, das vierte und fünfte deren Größe und Gestalt und das sechste den Ort des Himmelskörpers zu einer bestimmten Zeit.

§ 83. (Einrichtung der Planetentafeln.) Das Vorhergehende wird genügen, das Verfahren, welches die Astronomen bei ihren Berechnungen der Planetenorte beobachten, wenigstens im allgemeinen kennen zu lernen. Um diese Rechnungen zu vereinfachen, hat man die Bewegungen der Planeten sowie die der Sonne in bequeme Tafeln gebracht. Es wird nicht unangemessen sein, von der Einrichtung und dem Gebrauche dieser Tafeln hier kurz Nachricht zu geben. — Sie enthalten zuerst die Epochen, das heißt die mittlere Länge für die einzelnen Jahre, z. B. für den Mittag Wiens, und zwar für den 1. Januar, wenn es ein Schaltjahr, und für den 31. Dezember des vorhergehenden Jahres, wenn das gegenwärtige ein gemeines Jahr ist. Hätten nämlich beide Gattungen von Jahren einerlei Epoche, so würde man, da der Schalttag im Februar angebracht wird, in Schaltjahren alle 10 folgenden Monate des Jahres einen Tag mehr nehmen müssen, da man im Gegenteile jetzt, wo die Epoche des Schaltjahres schon einen Tag mehr hat, bloß in den beiden ersten Monaten einen Tag weniger zu nehmen braucht, um dieselbe Tafel für beide Jahresarten zu benützen. Überdies geben diese Tafeln auch die Zunahme der mittleren Längen bis zu dem 0ten Tag eines jeden Monats, d. h. bis zu dem letzten Tag des vorhergehenden Monats, und endlich die Bewegung der Planeten für die einzelnen Tage und wohl auch für die einzelnen Stunden, Minuten und Sekunden. Dadurch ist man in den Stand gesetzt, die mittlere Länge des Planeten für jede gegebene Zeit ebenso sicher als bequem zu erhalten. Um aber auch den veränderlichen Teil der Bewegung und den Radius Vektor des Planeten zu bestimmen, fügt man diesen Tafeln noch zwei andere bei, von welchen die erste die Gleichung der Bahn (§ 82) und die zweite den Unterschied des elliptischen Radius Vektor von der mittleren Entfernung oder halben großen Achse angiebt. Setzt man diese beiden Größen, die erste zur mittleren Länge, und die zweite zur halben großen Achse, so erhält man die wahre Länge des Planeten in seiner Bahn und seine wahre elliptische Distanz von der Sonne, aus welcher man dann wieder, wie in § 81, das Argument der Breite, ferner durch leichte Rechnungen die heliocentrische Länge in der Ekliptik, die heliocentrische Breite und daraus auch den geocentrischen Ort des Planeten für jede gegebene Zeit ableiten wird.

§ 84. (Bestimmung der Umlaufszeiten der Planeten um die Sonne. I. Siderische Umlaufszeit.) Ein Planet hat seinen Umlauf um die Sonne vollendet, wenn er von ihrem Centrum aus gesehen, wieder an denselben Ort des Himmels, beispielsweise zu demselben Fixsterne zurückgekehrt ist.

Woher soll man aber diese heliocentrischen oder von der Sonne gesehenen Orte erhalten, da wir den Planeten nur von der Erde beobachten können?

Das einfachste Mittel hierzu bieten die Durchgänge des Planeten durch die Ekliptik oder durch die Ebene der Erdbahn, welche leicht zu finden sind. Man

darf nämlich nur zu der Zeit, wo der Planet sich in der Nähe der Ekliptik aufhält, täglich die Rektascension und Deklination desselben beobachten und daraus durch Rechnung seine Länge und Breite ableiten. Findet man auf diese Weise zwei Tage, an deren erstem der Planet nördlich, an deren zweitem er südlich von der Ekliptik stand, so erhält man daraus und aus der täglichen Änderung der Breite durch eine einfache Proportion die Zeit, wann diese Breite verschwindet, oder wann der Planet durch die Ekliptik geht (Einl., § 11). Da nun der Mittelpunkt der Sonne ebenfalls in der Ekliptik liegt wie jener der Erde, so wird auch ein Beobachter in der Sonne den Planeten in demselben Augenblicke wie wir durch die Ebene der Ekliptik gehen sehen. Beobachtet man daher die Momente des Durchganges des Planeten durch denselben Knoten, sagen wir beispielsweise den aufsteigenden (§ 80), so wird der Planet in der Zwischenzeit auch von der Sonne gesehen, wieder zu demselben Punkte seiner Bahn zurückgekehrt sein, also seine Umlaufszeit vollendet haben, vorausgesetzt, daß dieser Knoten selbst während jener Zwischenzeit seinen Ort am Himmel nicht verändert hat, was in der That sehr nahe der Fall ist. Sehen wir daher zunächst von dieser Veränderlichkeit ab, so sind die auf diese Art bestimmten Umlaufszeiten der Planeten die wahren oder siderischen (§ 61), und da durch dieselben mit Hilfe des oben (§ 77) angeführten dritten Kepler'schen Gesetzes auch die Verhältnisse der großen Halbachsen, oder der sogenannten mittleren Distanzen ihrer Bahn gegeben sind, so kennt man sofort auch diese. Die Tafel am Ende des Werkes giebt jene siderischen Revolutionen und diese mittleren Distanzen. Man findet da:

	Siderische Revolution.	Mittlere Distanze.
Merkur	88 Tage	0·387
Venus	225 =	0·723
Erde	365 =	1·000
Mars	687 =	1·524 u. s. w.

§ 85. (II. Tropische Umlaufszeit.) Von der eben bestimmten Umlaufszeit etwas verschieden ist die Zeit, welche der Planet braucht, um zu derselben Länge in seiner Bahn zurückzukehren. Man erhält nämlich, wie oben (§ 81) auseinandergesetzt wurde, die Länge in der Bahn, wenn man zum Argumente der Breite, d. h. zur Entfernung des Planeten vom aufsteigenden Knoten der Bahn, die Länge des Knotens, nämlich die Entfernung desselben vom Frühlingsnachtgleichenpunkte (§ 80) addiert. Da aber, wie wir gesehen haben (§ 50), der Nachtgleichenpunkt sich selbst, allerdings sehr langsam, nämlich jährlich nur um 50·2113″ oder um 0·01394° von Ost gen West, also der Richtung der Längenzählung entgegengesetzt bewegt, so wird die Länge des aufsteigenden Knotens jährlich um diese Größe zunehmen und daher der Planet, wenn er wieder zu demselben Argumente der Breite, d. h. zu demselben Punkte zurückgekehrt ist,

bereits eine größere Länge in der Bahn aufweisen. Es ist deshalb die Zwischenzeit, die der Planet braucht, um wieder dieselbe Länge in der Bahn zu erreichen, und die man tropische Umlaufszeit genannt hat, etwas kürzer als die siderische Umlaufszeit.

Übrigens ist es leicht, aus der einen dieser Umlaufszeiten die andere abzuleiten. Dividiert man nämlich die oben angegebene jährliche Veränderung der Lage des Frühlingsnachtgleichenpunktes durch die Dauer eines Jahres ($365^1/_4$ Tage), so erhält man $0{\cdot}000038^0$ als tägliche Bewegung dieses Punktes. Dividiert man ebenso den Umfang der Peripherie oder 360^0 durch die siderische Umlaufszeit, so erhält man die mittlere siderische tägliche Bewegung des Planeten. Addiert man nun zu dieser täglichen siderischen die tägliche Bewegung des Frühlingsnachtgleichenpunktes, die eben zu $0{\cdot}000038^0$ gefunden wurde, so erhält man die tägliche tropische Bewegung des Planeten, da dem obigen zufolge die Bewegungen von Planet und Nachtgleichenpunkt einander entgegengesetzt sind, sich daher scheinbar summieren. Dividiert man nun wieder 360^0 durch die tägliche tropische Bewegung, so erhält man die tropische Umlaufszeit. So ist z. B. für Mars (nach der Tafel am Ende des Werkes) die siderische Revolution 686·98 Tage. Daraus ergiebt sich die tägliche siderische Bewegung zu $0{\cdot}524033^0$, die tägliche tropische Bewegung zu $0{\cdot}524033^0 + 0{\cdot}000038^0 = 0{\cdot}524071^0$ und damit endlich die tropische Umlaufszeit zu 686·93 Tagen.

Man sieht daraus, daß der Unterschied zwischen der siderischen und der tropischen Revolution für die der Sonne nahen Planeten sehr gering ist; für die entfernteren vergrößert er sich aber sehr rasch. So beträgt er für Uranus bereits 99·6 Tage und steigt bei Neptun sogar auf 381·1 Tage, also auf mehr als ein Jahr.

§ 86. (III. Synodische Revolution.) Wesentlich verschieden von den beiden eben genannten Umlaufszeiten ist die synodische Revolution oder die Zeit, innerhalb welcher der Planet wieder in dieselbe Stellung gegen die Sonne, beispielsweise in die Opposition (§ 45) zurückkehrt.

Übrigens ist auch die synodische Revolution aus der siderischen leicht zu berechnen. Bildet man sich nämlich außer der täglichen siderischen Bewegung des Planeten auch die tägliche siderische Bewegung der Erde oder, was auf dasselbe hinauskommt, der Sonne, so ist die Differenz dieser beiden Größen die relative tägliche Bewegung des Planeten gegen die Sonne, und daher die Dauer der synodischen Revolution 360^0 dividiert durch diese Größe. So beträgt (nach der Tafel am Ende des Werkes) die siderische Revolution der Erde 365·256 Tage, also die tägliche siderische Bewegung $0{\cdot}985697^0$. Zieht man davon die tägliche siderische Bewegung des Mars, die wir im vorigen Paragraph zu $0{\cdot}524033^0$ gefunden haben, ab, so erhält man als relative tägliche Bewegung des Mars gegen die Sonne $0{\cdot}461664^0$ und damit seine synodische Revolution 779·8 Tage.

Will man umgekehrt aus der synodischen Revolution die siderische ableiten,

so bildet man sich zuerst die tägliche synodische Bewegung, addiert oder subtrahiert diese, je nachdem es ein unterer oder oberer Planet ist, von der täglichen siderischen Bewegung der Erde und erhält so die tägliche siderische Bewegung des Planeten und aus dieser auf die bekannte Weise die siderische Umlaufszeit. So findet sich die synodische Umlaufszeit der Venus zu 584·0 Tagen; daraus zunächst die tägliche synodische Bewegung zu 0·616434°; also, da Venus ein unterer Planet ist, die tägliche siderische Bewegung zu $0{\cdot}616434^\circ + 0{\cdot}985697^\circ = 1{\cdot}602131^\circ$ und daraus die siderische Umlaufszeit zu 224·701 Tagen.

§ 87. (Bestimmung der siderischen aus der synodischen Revolution.) Die Durchgänge der Planeten durch die Ebene der Ekliptik lassen sich bei den meisten derselben nur schwer mit Schärfe beobachten, weil die Neigungen ihrer Bahnen sehr klein sind und daher die Planeten die Ekliptik nur in sehr schiefer Richtung durchschneiden. Auch sind die Knoten verschiedenen Bewegungen unterworfen, die selbst jetzt noch nicht völlig genau bekannt sind. Die siderischen Umlaufszeiten gehören aber zu den wichtigsten Elementen der Planetenbahnen; es wird deshalb nicht unangemessen sein, hervorzuheben, daß man bei den äußeren Planeten die Oppositionen sehr genau und scharf beobachten kann. Die Zwischenzeit zwischen zwei Oppositionen ist aber bereits die synodische Umlaufszeit, aus welcher man, wie im vorigen Paragraph gezeigt wurde, leicht die siderische Revolution berechnen kann. Die Beobachtung der synodischen Revolutionen bietet daher wenigstens für die äußeren Planeten ein sehr gutes Mittel dar, ihre siderischen Umlaufszeiten zu bestimmen.

Allein man wird bald erkennen, daß die synodischen Revolutionen, welche man auf diese Weise erhält, beträchtlich verschieden ausfallen, wenn man verschiedene Paare von Oppositionen unter sich vergleicht. Diese Differenzen sind zu groß, als daß man sie Beobachtungsfehlern zuschreiben dürfte, da man, wie gesagt, die Zeiten und Orte der Oppositionen mit großer Genauigkeit beobachten kann. Dies rührt daher, daß die Bahnen der Planeten um die Sonne Ellipsen sind, und infolge dessen ihre Geschwindigkeit nicht in allen Teilen ihrer Bahn gleichförmig ist. Die Abweichungen der Planeten von der gleichförmigen Bewegung in einem Kreise sind indes nicht groß, so daß wir bei der ersten Annäherung uns die Annahme, sie bewegen sich in Kreisen, wohl erlauben können. Da aber die Bestimmung der Umlaufszeit so wichtig ist, und da sie gleichsam aller weitern Ausbildung der Planetentheorie vorausgehen muß, so muß man auf Mittel bedacht sein, diese Umlaufszeiten ganz unabhängig von einer genaueren Kenntnis der übrigen Ungleichheiten zu erhalten, welchen die Bewegungen der Planeten etwa noch unterworfen sein könnten.

Dazu giebt es aber keinen besseren Weg, als zwei in der Zeit sehr weit von einander entfernte Oppositionen zu wählen, um aus ihnen die wahre synodische Revolution abzuleiten, vorausgesetzt, daß man bereits einen genäherten Wert derselben kennt. Dann werden nämlich die Fehler, die man entweder bei den Beobachtungen selbst oder dadurch begangen hat, daß man die Bewegungen des

Planeten vollkommen gleichförmig voraussetzte, da sie dieses doch nur beinahe sind, durch die große Zwischenzeit der beiden Beobachtungen ungemein vermindert, wie wir dies am besten durch ein Beispiel sehen werden.

Wir haben bereits oben (§ 23) einer der ältesten Beobachtung, die auf uns gekommen ist, vom Jahre 1100 vor unserer Zeitrechnung, Erwähnung gethan. Nehmen wir an, es sei uns von demselben Jahre auch die Opposition eines Planeten erhalten worden, die am 20. November alten Stils 1100 v. Chr. im Augenblicke des Mittags in Peking stattgefunden hätte. Gesetzt, in dem Jahre 1834 sei am 22. Mai neuen Stils zur Zeit, da es an diesem Tage wieder in Peking Mittag ist, eine andere Opposition desselben Planeten irgendwo in Europa beobachtet worden, und man wüßte bereits, daß die synodische Revolution dieses Planeten nahe $535^3/_4$ Tage beträgt. Die Zwischenzeit zwischen beiden Beobachtungen wäre an sich 2933 Jahre und 183 Tage oder, da das Julianische Jahr $365^1/_4$ Tage hat, und da der neue oder Gregorianische Stil in dem gegenwärtigen Jahrhundert um 12 Tage vor dem alten Stile voraus ist, eigentlich 2933 Jahre und 171 Tage oder 1 071 449·25 Tage. Da nun die synodische Revolution dieses Planeten nahe 535·75 Tage betragen soll, so sind in dieser Zwischenzeit volle 2000 synodische Revolutionen vorübergegangen, und man wird daher die wahre Dauer einer solchen Revolution erhalten, wenn man die Zahl 1 071 449·25 durch 2000 dividiert. Dies giebt für die gesuchte wahre synodische Revolution 535·724 625 Tage. — Nehmen wir nun an, die erste jener beiden Beobachtungen wäre fehlerhaft und volle 6 Stunden zu spät beobachtet worden, so würde die wahre Zwischenzeit zwischen beiden Beobachtungen ebenfalls um 6 Stunden größer und daher gleich 1 071 449·5 Tage gewesen sein. Dividiert man auch diese Zahl wieder durch die Anzahl der Revolutionen oder durch 2000, so erhält man für die wahre synodische Revolution des Planeten 535·72 475 Tage, also nur 0·000125 Tage oder $10{\cdot}8^s$ mehr als zuvor. Jener Fehler von 6 Stunden ist also hier, durch die große Zwischenzeit, auf $18{\cdot}8^s$, d. h. auf seinen 2000sten Teil herabgebracht worden.

Aus dieser Ursache haben auch die Griechen, welchen dieser Vorteil der älteren Beobachtungen zu jenem Zwecke nicht entgangen war, die Umlaufszeiten der ihnen bekannten Planeten bereits mit so großer Genauigkeit bestimmt, daß die neueren Astronomen an den Revolutionen, die Ptolemäus in seinem Almagest mitgeteilt hat, nur sehr wenig mehr zu verbessern fanden. Solche in der Zeit sehr weit von uns entfernte Beobachtungen würden auch noch zu anderen interessanten Untersuchungen sehr wichtig sein; allein sie sind leider meistens so unvollkommen, daß man sich ihrer nur selten bedienen kann. Unsere wahrhaft guten und zuverlässigen Beobachtungen beginnen erst mit dem Anfange oder genauer in der Mitte des verflossenen achtzehnten Jahrhunderts, und unsere Nachkommen werden sie einst mit großem Vorteil zu denjenigen Bestimmungen benützen, über welche wir aus Mangel ähnlicher Hilfsmittel noch in Ungewißheit sind.

§ 88. (Bestimmung der Distanzen der Planeten.) Nach dem dritten Kepler'schen Gesetze verhalten sich (§ 77) die Würfel der großen Achsen a und a' zweier Planeten so, wie die Quadrate ihrer siderischen Umlaufszeiten t und t' d. h. es ist:

$$\frac{a^3}{a'^3} = \frac{t^2}{t'^2}$$

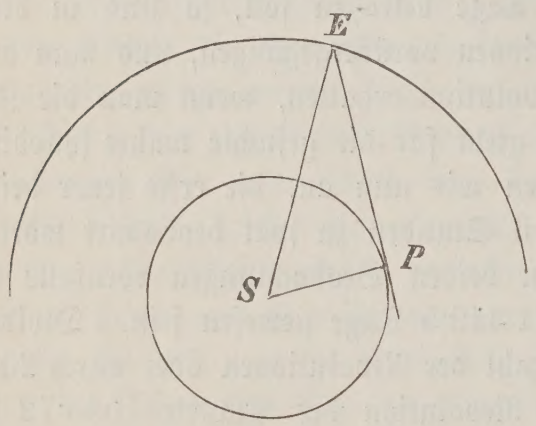
Gelten nun a' und t' für die Erde, und nimmt man, wie allgemein üblich, für alle Entfernungen im Sonnensysteme die halbe große Erdbahnachse als Maßeinheit an, setzt man also $a' = 1$, so liefert uns die obige Gleichung für die große Halbachse eines Planeten, dessen siderische Umlaufszeit man kennt, sehr einfach:

$$a = \sqrt[3]{\frac{t^2}{t'^2}}$$

So z. B. beträgt die siderische Umlaufszeit des Mars: $t = 686{\cdot}98$ Tage, die der Erde: $t' = 365{\cdot}26$ Tage, die große Halbachse der Marsbahn ist daher:

$$a = \sqrt[3]{\frac{471\,941{\cdot}5204}{133\,414{\cdot}8676}} = 1{\cdot}524.$$

Fig. 31.



Bei einem unteren Planeten (§ 59) können wir seine Entfernung von der Sonne auch noch auf eine andere Art bestimmen. Wir haben nämlich schon oben (§ 69) bemerkt, daß zur Zeit der größten Digression eines unteren Planeten die Richtung seiner Bewegung oder die Tangente seiner Bahn gerade auf die Erde zu geht. Dies giebt ein einfaches Mittel, die Distanz des Planeten von der Sonne zu finden. Hat man nämlich eine solche größte Digression beobachtet, wo der untere Planet (Fig. 31) in P und die Erde in E steht, so ist in dem Dreiecke SEP der Winkel an P ein rechter, und der Winkel an E unmittelbar durch die Beobachtung gegeben. Es ist daher:

$$SP = SE \sin SEP$$

also wenn man SE, die Entfernung der Erde von der Sonne als bekannt ansieht, SP, die Entfernung des Planeten von der Sonne, bestimmt.

Dasselbe Verfahren läßt sich auch mit einer geringen Abänderung mittelst des Mondes auf die Sonne anwenden. Zur Zeit seiner Quadraturen oder in dem Augenblicke des ersten und letzten Viertels steht die Linie, welche seinen Mittelpunkt mit dem der Sonne verbindet, senkrecht auf derjenigen Geraden, welche durch seinen und durch den Mittelpunkt der Erde geht. Man erkennt diesen Moment daran, daß die Lichtgrenze, welche den dunklen Teil des Mondes von dem beleuchteten trennt, und die sonst immer eine konvexe oder konkave Kurve

ist, in eine gerade Linie übergeht. Da man nun in diesem Momente den Winkel messen kann, welchen die beiden Gesichtslinien EP und ES nach dem Monde und nach der Sonne in dem Auge des Beobachters bilden, so wird die Entfernung EP des Mondes von der Erde aus dem Produkte der Entfernung ES der Erde von der Sonne in den Cosinus des Winkels SEP gefunden. Es ist aber sehr schwer, den Augenblick mit Schärfe zu beobachten, wo jene Lichtgrenze des Mondes genau eine gerade Linie, oder wo die untern Planeten in dem Punkte ihrer größten Digression sind, daher auch diese Messung der Distanzen sehr unsicher ist. Indes verdanken wir doch jener Methode die ersten genäherten Kenntnisse der Entfernung der Sonne.

§ 89. (Bestimmung der Excentrizität der Planetenbahnen.) Nach dem ersten Gesetze Kepler's (§ 73) sind die Flächen, welche der Radius Vektor des Planeten beschreibt, der Zeit proportional. Wäre die Bahn desselben ein Kreis und die Sonne im Mittelpunkte dieses Kreises, so würden diese Flächen auch zugleich den Winkeln der Radien an der Sonne proportional oder die Bewegung der Planeten würde gleichförmig sein. Die Ungleichheiten, die man in der heliocentrischen Bewegung dieser Körper bemerkt, sind daher eine bloße Folge der Excentrizität ihrer elliptischen Bahnen.

Vergleichen wir den Gang des wahren Planeten P (Fig. 30, S. 157) in der Ellipse mit dem dort (§ 82) betrachteten imaginären oder mittleren Planeten M, der sich in einem Kreise B'M, dessen Mittelpunkt die Sonne ist, gleichförmig und so bewegt, daß er mit dem wahren Planeten immer zugleich durch die große Achse in B' und A' geht, dessen Bewegung daher die mittlere Bewegung des wahren Planeten, und dessen Umlaufszeit gleich der des wahren Planeten sein wird. Während sich also der mittlere Planet M in seinem Kreise gleichförmig bewegt, geht der wahre Planet P in der Ellipse ungleichförmig und zwar so, daß die Fläche BPS des elliptischen Sektors in jedem Tage um dieselbe Größe wächst. Da die Bewegung des wahren Planeten zur Zeit seines Durchgangs durch das Perihelium B am größten ist (§ 72), so wird er anfangs vor dem mittleren Planeten voraus, oder die Gleichung der Bahn, d. h. der Winkel MSP (§ 82) wird positiv sein, während sie im Perihelium selbst gleich Null gewesen ist. Da diese Gleichung aber im Aphelium A ebenfalls verschwindet, weil dann die beiden Planeten, der eine in A, der andere in A', zu gleicher Zeit durch die große Achse gehen, so muß es zwischen diesen beiden Punkten A und B einen dritten geben, wo die Gleichung der Bahn am größten ist. Der eigentliche Wert dieser größten Mittelpunkts-Gleichung wird bloß von der Excentrizität der Bahn abhängen, und man wird daher auch umgekehrt, wenn man diese größte Gleichung kennt, daraus die Excentrizität finden können.

§ 90. (Bestimmung der Lage der Apsidenlinie.) So, wie wir die Excentrizität der Planetenbahnen aus der Beobachtung der größten Gleichung des Mittelpunktes gefunden haben, welche größte Gleichung immer nahe in der Mitte zwischen den

beiden Apsiden statthat, so werden wir nun auch die Lage der großen Achse selbst aus denjenigen Punkten A und B der Bahn ableiten können, wo die größte und die kleinste heliocentrische Geschwindigkeit statthat. Da aber diese Beobachtungen keine große Schärfe gewähren, so wird es besser sein, unter den Beobachtungen, die man eine ganze Umlaufszeit durch z. B. an der Sonne angestellt hat, diejenigen zwei herauszusuchen, die genau ein halbes Jahr von einander entfernt sind, und für welche die beiden Längen der Erde um 180° verschieden sind. An der Vereinigung dieser beiden Eigenschaften erkennt man nämlich, daß die Erde zur Zeit jener Beobachtungen in ihren Apsiden gewesen sein muß; für jede andere gerade durch die Sonne S (Fig. 30) gehende Linie ☊ ☋ wird die Differenz der beiden Längen der Erde in ☊ und ☋ zwar ebenfalls 180° betragen, aber die Zeit durch den Bogen ☊P☋ wird beträchtlich kürzer sein als die durch ☋V☊, weil in jenem Bogen das Perihelium, in diesem aber das Aphelium der Erde liegt, oder weil jener Bogen mit einer größeren Geschwindigkeit als dieser von der Erde beschrieben wird.

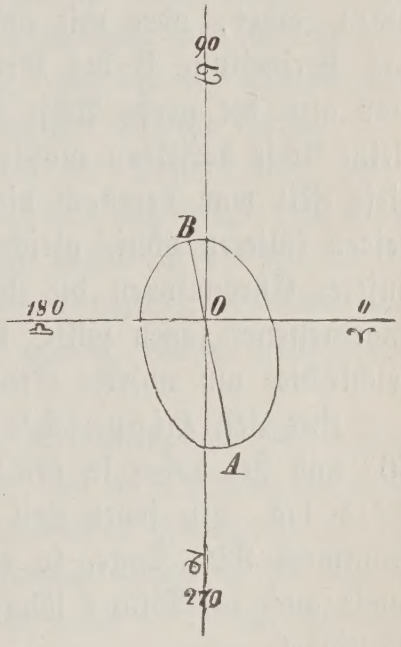
§ 91. (Bewegung der Apsiden.) Vergleicht man zwei solche Beobachtungen der Apsiden, die durch mehrere Jahrhunderte von einander getrennt sind, so findet man, daß die Länge des Periheliums, also auch die des Apheliums aller Planetenbahnen mit der Zeit immer größer wird. Die Tafel am Ende des Werkes giebt diese Änderung der Apsiden für die einzelnen Bahnen. Die Länge des Periheliums der Erdbahn z. B. wächst in jedem Jahre um 0·0171°. Wenn also die Erde, am Ende eines Jahres, wieder in dem Punkte ihrer Bahn ankommt, wo am Anfang des Jahres ihr Perihelium war, so wird sie noch 0·0171° zurücklegen müssen, um auch jetzt ihr Perihelium wieder zu erreichen. Die Zeit, welche sie dazu braucht, wird $\frac{0{\cdot}0171}{360}$ multipliziert durch das tropische Jahr oder durch 365·24225, das heißt, diese Zeit wird 0·01736 Tage betragen. Die Erde wird also diese Zeit mehr brauchen, um ihre Umlaufszeit um die Sonne in Beziehung auf ihr Perihelium zurückzulegen oder, wie man sagt, das anomalistische Jahr der Erde wird 365·24225 + 0·01736, das heißt 365·25961 Tage betragen.

Da die große Achse der Erdbahn um den Mittelpunkt der Sonne in jedem Jahre in Beziehung auf den Frühlingspunkt den Winkel 0·0171° zurücklegt, so wird ihre ganze Umdrehungszeit um die Sonne, während welcher sie einen Winkel von 360° in Beziehung auf den Frühlingspunkt beschreibt, sehr nahe 20 930 Jahre betragen.

§ 92. (Dauer der Jahreszeiten in verschiedenen Jahrhunderten.) Die Länge des Periheliums der Erde ist für die Mitte dieses Jahrhunderts, nach der Tafel am Ende des Werkes, gleich 100°. Bezeichnen daher die zwei auf einander senkrechten Linien ♈♎ (Fig. 32) die Äquinoktial-, und ♋♑ die Solstitiallinie (Einl. § 11), in deren Durchschnittspunkt O wir uns die Sonne vorstellen, so hat jetzt die elliptische Bahn der Erde die in der Zeichnung angegebene Lage, wo B das

Perihelium und A das Aphelium, also AB die große Achse der Erdbahn ist. In dieser Bahn ist die Erde zur Zeit des Frühlingsanfangs in demjenigen Punkte, wo die Ellipse von der Linie O♎ geschnitten wird, und ebenso ist sie im Anfange des Sommers, des Herbstes und des Winters der nördlichen Hemisphäre in denjenigen Punkten, wo die Ellipse der Reihe nach von den Linien O♑, O♈, O♋ geschnitten wird, welche vier Punkte die Erde (nach § 33) in der genannten Ordnung zur Zeit des 21. März, 21. Juni, 23. September und 21. Dezember einnimmt. Wird die Ebene des Äquators durch die des Papiers vorgestellt, so wird diese Ebene von jener der Ekliptik, in welcher die Erdbahn liegt, in der Linie ♎♈ und zwar so geschnitten, daß der Teil der Ellipse, der von ♎♈ gegen ♋ zu liegt, über, der andere, gegen ♑ zu liegende Teil aber unter der Ebene des Papiers liegt. Im letzteren Teile, der auch das Perihelium enthält, ist die Erde zur Zeit unseres Winters, d. h. vom Anfang des Herbstes bis zum Anfang des Frühlings, und in dem andern Teile hält sie sich zur Zeit unseres Frühlings und Sommers auf, so daß also, wie man sieht, die Erde in unserem Winter der Sonne näher steht als im Sommer. Da unser Winter aber der Sommer der südlichen Halbkugel ist, so folgt daraus, daß auf gleichen Breiten die Sommer der südlichen Hemisphäre wärmer sein müssen als auf der nördlichen, was die Erfahrung denn auch völlig bestätigt, indem die Hitze z. B. im Inneren von Australien weit unerträglicher ist als in der Sahara.

Fig. 32.



Da weiter die Bewegung der Erde im Perihelium am schnellsten und im Aphelium am langsamsten ist, so ist klar, daß jetzt Frühling und Sommer zusammengenommen etwas länger dauern als Herbst und Winter. Die Zeit von dem Augenblicke, da die Sonne im Frühlingsäquinoktium ist, bis zu dem, wo sie in das Sonnensolstitium (§ 33) tritt, oder die Dauer des Frühlings auf der nördlichen Hemisphäre beläuft sich jetzt auf 92·91 Tage, und ebenso dauert der Sommer 93·57, der Herbst 89·70 und der Winter 89·07 Tage. Die Summe der beiden ersten beträgt 186·48 und die der beiden letzten 178·77 Tage, also 7·71 Tage weniger als die erste Summe. Diese längere Dauer der beiden wärmeren Jahreszeiten wird bestehen, so lange das Perihelium der Erde auf derjenigen Seite der Äquinoktiallinie ♎♈ bleibt, auf der es jetzt ist. Aber in der Folge der Zeiten wird sich dieses Verhältnis umkehren, und dann wird die kältere Jahreszeit die längere sein. Denn die durch die Wirkung der übrigen Planeten auf die Erdbahn hervorgerufene Änderung der Lage der Apsidenlinie ist nicht

wie die meisten derartigen Änderungen in gewisse Perioden eingeschlossen, während welcher sie, meistens zwischen sehr engen Grenzen auf- und abgehen, wie wir dies beispielsweise bei der Schiefe der Ekliptik (§ 24) gefunden haben. Die Apsiden bewegen sich wohl auch bald langsamer, bald geschwinder, aber doch immer nach derselben Richtung fort, so daß sie allmählich, wenngleich in Perioden von vielen Jahrtausenden, endlich den ganzen Himmel durchwandern. Wir werden weiter unten auf diesen sehr interessanten Gegenstand wieder zurückkommen. Hier wird es genügen, die Lage der Erdbahn zu verschiedenen Epochen unserer Menschengeschichte etwas genauer zu betrachten.

Die Länge des Periheliums der Erde nimmt dem obigen zufolge in Bezug auf den Frühlingsnachtgleichenpunkt jährlich um 0·0171°, also in einem Jahrhunderte um 1·71° zu und betrug in der Mitte unseres Jahrhunderts 100·40°. Rechnet man nun mit einer säkulären Bewegung von 1·71° zurück in die Zeit, da die Länge des Periheliums gleich 0° war, so findet man für diese Zeit 5800 Jahre, oder mit anderen Worten: gegen das Jahr 4000 v. Chr. fiel das Perihelium B der Erdbahn in die Linie ♈O der Nachtgleiche. Damals war also die große Achse dieser Bahn in der Linie der Nachtgleichen, und die kleine Achse derselben mußte daher mit der Solstitiallinie ♋♑ parallel sein. Für diese Zeit war demnach die Dauer der beiden wärmeren Jahreszeiten jener der beiden kälteren völlig gleich. Es ist nun ein merkwürdiger Zufall, daß die meisten unserer Chronologen die Zeit der Entstehung der Erde oder, wie man vielleicht angemessener sagen sollte, die Zeit der ersten historischen Spuren des Menschengeschlechtes auf unserer Erde in jene Epoche gesetzt haben.

Zur Zeit Hipparch's, 140 Jahre v. Chr., war die Länge des Periheliums 66° und fiel daher in den Winkel ♈O♋, während das Aphelium in dem Winkel ♎O♑ lag. Zu jener Zeit betrug die Dauer des Frühlings 94·5 und die des Sommers 92·5 Tage, so daß also der Frühling länger war als der Sommer, sowie auch der Winter länger dauerte als der Herbst, während jetzt das Gegenteil stattfindet.

Im Jahre 1250 nach Chr., zur Zeit Kaiser Friedrich's II. oder während des letzten Kreuzzuges unter Ludwig IX., betrug die Länge des Perihels 90° und fiel daher in die Linie O♋ des Wintersolstitiums, so daß also die große Achse der Ellipse in der Linie ♋♑ und die kleine in ♈♎ lag. Die Äquinoktiallinie ♈♎ teilte damals die Ellipse in zwei ungleiche Teile, und die Mitte des kleineren Teiles nahm das Perihelium ein, daher auch dieser Teil in einer viel kürzeren Zeit zurückgelegt wurde als der andere, weil der Umfang jenes Teiles schon an sich kleiner war und überdies von der Erde mit einer größeren Geschwindigkeit durchlaufen wurde. Die beiden kälteren Jahreszeiten waren also damals beträchtlich kürzer als die Summe der beiden wärmeren, obschon der Frühling mit dem Sommer, sowie auch der Herbst mit dem Winter eine und dieselbe Dauer hatte.

Nach 4600 Jahren von der Mitte des gegenwärtigen Jahrhunderts, d. h. im Jahre 6450 n. Chr., wird die Länge des Periheliums 180° betragen, und die Ellipse der Erdbahn eine Lage haben, welche jener um das Jahr 4000 v. Chr. ganz entgegengesetzt ist. Dann wird nämlich das Perihelium in die Linie O♎, das Aphelium in O♈ fallen, und die kleinere Achse der Ellipse wird mit der Solstitiallinie ♋♑ parallel sein. Nach dieser Epoche wird das Perihelium in den Winkel ♎O♑ treten, und die Dauer des Frühlings und des Sommers zusammengenommen wird kürzer werden als die des Herbstes und Winters.

§ 93. (Zeitbestimmung. Sternzeit.) Die Bewegung der Erde, um sich selbst sowohl als auch um die Sonne, ist die Grundlage aller unserer Zeitrechnungen, eines der wichtigsten Elemente des bürgerlichen sowohl als auch des wissenschaftlichen Lebens, daher sie hier eine besondere Rücksicht verdient.

Wir nennen bekanntlich Zeit den Eindruck, welchen eine Reihe von aufeinanderfolgenden Ereignissen auf unser Gedächtnis macht. Gewöhnlich messen wir sie durch die Bewegung irgend eines Körpers, von welchem wir voraussetzen, daß er seine Geschwindigkeit nicht ändert, oder daß, wie bei der Schwingung eines Pendels, die Dauer einer solchen Schwingung immer dieselbe bleibt.

Am Himmel bemerken wir mehrere Bewegungen, die allen unsern, selbst den genauesten Erfahrungen zufolge völlig gleichförmig vor sich gehen und daher zur Zeitbestimmung sehr geschickt sind. Dahin gehören vor allen die Rotationen der Planeten, und unter diesen besonders die tägliche Rotation der Erde um ihre Achse, die, der Theorie und den Beobachtungen gemäß, völlig gleichförmig und seit den ältesten Zeiten immer dieselbe ist.

Man erkennt diese Bewegung der Erde an den Fixsternen, die sich infolge derselben täglich um uns zu bewegen scheinen, und sagt, daß ein Sterntag vollendet ist, wenn ein solcher Fixstern für uns wieder an demselben Punkte, z. B. für einen fixen Standpunkt des Auges, an derselben Turmspitze erscheint, an welcher er gestern erschienen ist. Diesen Sterntag pflegt man dann in 24 gleiche Teile einzuteilen, die man Stunden nennt, deren jede wieder 60 Minuten, sowie jede Minute 60 Sekunden hat.

Da hier von der scheinbaren Bewegung des Himmels, d. h. von der wahren täglichen Bewegung der Erde die Rede ist, und da diese um die Achse der Erde oder parallel mit dem Äquator vor sich geht, so kann man auch sagen, daß der Sterntag die Zeit ist, in welcher jeder Punkt des Äquators seinen ganzen Umkreis oder volle 360° um den Mittelpunkt der Erde zurücklegt, so daß daher in einer Stunde 15 Grad, in einer Zeitminute 15 Raumminuten und in einer Zeitsekunde 15 Raumsekunden (Einl., § 1) des Äquators durch den Meridian gehen.

Als Anfangspunkt für die Zählung des Sterntages wählt man unter den fixen Punkten des Himmels denjenigen, welchen eben der Frühlingspunkt einnimmt. Dieser Punkt ist zwar, wie wir bereits gesehen haben, selbst nicht ganz unbeweglich,

aber seine Bewegung ist so langsam und gleichförmig, daß man, wenigstens bei dieser ersten Betrachtung des Gegenstandes, sie ganz außer Acht lassen kann.

Der Sterntag ist also gleich der Zeit zwischen zwei nächsten Durchgängen des Frühlingspunktes durch den Meridian, und für einen jeden Ort der Erde fängt dieser Tag an und endet in dem Augenblicke, in welchem der Frühlingspunkt durch den Meridian dieses Ortes geht. Eine Stunde nach dieser Kulmination hat jeder Punkt des Äquators, also auch der Frühlingspunkt selbst, den 24sten Teil seines Umkreises zurückgelegt, oder der Stundenwinkel (Einl., § 9) dieses Punktes ist gleich einer Stunde oder gleich 15°, und ebenso wird in 2, 3, 4 Stunden nach der Kulmination dieses Punktes der Stundenwinkel desselben 2, 3, 4 Stunden oder 30, 45, 60 Grad betragen u. s. w., so daß man daher kurz sagen kann: Der Sterntag ist die Zeit zwischen zwei nächsten Kulminationen des Frühlingspunktes, und die Sternzeit eines jeden solchen Tages ist der Stundenwinkel des Frühlingspunktes (Einl., § 23).

§ 94. (Wahre Sonnenzeit.) Allein für das bürgerliche Leben ist nicht der Frühlingsnachtgleichenpunkt, sondern die Sonne als das geeignetste Maß unserer Zeit zu betrachten, weil sie uns durch die tägliche Abwechslung von Licht und Dunkelheit den Tag und die Nacht giebt, welche beide zusammen den Tag, im eigentlichen Sinne des Wortes bilden. Ebenso giebt sie uns durch ihre Wiederkehr zu dem Frühlingspunkte die Abwechslung der 4 Jahreszeiten, welche zusammen unser Jahr ausmachen.

Wir werden daher, analog mit dem Vohergehenden, sagen: der Sonnentag ist die Zeit zwischen zwei nächsten Kulminationen der Sonne, und die Sonnenzeit eines jeden Ortes ist der Winkel, welchen die Sonne seit ihrem letzten Durchgang durch den Meridian dieses Ortes, in Beziehung auf den Äquator, zurückgelegt hat, d. h. die Sonnenzeit eines jeden Augenblicks ist der Stundenwinkel der Sonne für denselben Augenblick. Dieser Stundenwinkel wird gewöhnlich wahre Zeit genannt. (Einl. § 9.)

Allein hier begegnen wir sogleich einer Schwierigkeit, die wir, ehe wir weiter gehen, zu entfernen suchen müssen.

Die Zeit geht gleichförmig fort und kann daher auch nur durch solche Bewegungen gemessen werden, die ebenfalls gleichförmig vor sich gehen, wie wir bereits oben gesagt haben. Die Sonne aber geht, vermöge der elliptischen Bewegung der Erde, bald langsamer, bald geschwinder in ihrer scheinbaren Bahn, und überdies nicht im Äquator einher, auf dem wir die Zeit messen, wodurch eine zweite Ungleichförmigkeit entsteht. Die Sonne kann daher eigentlich nicht als Zeitmesser gebraucht werden, weil die Tage, die Stunden des einzelnen Tages und selbst die kleineren Teile desselben in verschiedenen Jahreszeiten nicht mehr dieselbe Dauer haben, und das Maß, mit dem wir die Zeit bestimmen, dadurch selbst ungleich und veränderlich und damit zu genauen Zeitmessungen unbrauchbar wird.

Dessen ungeachtet drängt sich uns diese Sonne gleichsam zum Zeitmaße auf, und sie ist überdies seit den ältesten Zeiten so allgemein als ein solches gebraucht worden, daß wir nicht umhin können, zuzusehen, ob sich jene Unregelmäßigkeiten ihrer Bewegung, die wir aus der Natur selbst nicht wegschaffen können, vielleicht doch im Gebrauche durch Rechnung umgehen lassen.

§ 95. (Mittlere Zeit.) Die Sonne eignet sich also, wie sie ist, nicht ganz zur Zeitbestimmung, weil sie erstens, wegen ihrer elliptischen Bahn, eine ungleichförmige Bewegung hat, und weil diese Bewegung zweitens, selbst wenn sie gleichförmig wäre, in Beziehung auf den Äquator, in welchem wir allein die Zeit messen, doch wieder ungleichförmig erscheinen würde.

Wir haben uns aber schon oben (§ 82), wo wir einem ähnlichen Hindernisse bei der Bestimmung des Ortes eines Planeten in seiner elliptischen Bahn begegneten, eines Mittels bedient, das wir, mit einer kleinen Veränderung, auch hier wieder anwenden können. Wir haben uns nämlich zu jenem Zwecke einen imaginären Planeten, einen *mittleren*, wie wir ihn nannten, vorgestellt, und wollen uns also hier zunächst in ganz gleicher Weise eine *mittlere Sonne* denken, welche, wie die wahre Sonne in der Ebene der Ekliptik, aber *gleichförmig* um die Erde, und zwar so geht, daß sie mit der wahren Sonne immer zugleich in den beiden Punkten der Apsidenlinie eintrifft, also auch mit der wahren Sonne dieselbe Umlaufszeit hat. Mit Hilfe dieser *mittleren* Sonne, deren Ort in der Ekliptik, oder deren Länge wir für jede Zeit durch eine einfache Addition finden, wird es uns so wie dort möglich, durch eine kleine Rechnung auch den nie weit entfernten Ort der *wahren* Sonne aufzufinden.

Denken wir uns nun noch eine *zweite mittlere Sonne*, welche ebenfalls gleichförmig, aber in der Ebene des Äquators einhergeht, und welche immer zugleich mit jener ersten mittleren Sonne durch die beiden Punkte der Nachtgleichen geht, deren Umlaufszeit also wieder dieselbe wie jene der beiden anderen Sonnen ist. Dies vorausgesetzt ist der Ort dieser zweiten Sonne im Äquator, d. h. ihre Rektascension offenbar gleich der Länge der ersten mittleren Sonne, und diese letzte findet man unmittelbar in den Sonnentafeln. (§ 83.)

Dieser Punkt des Äquators nun, den die zweite mittlere Sonne einnimmt und den man für jeden Augenblick so leicht erhalten kann, dieser Punkt ist es, dessen Stundenwinkel die *mittlere Sonnenzeit* oder kurzweg *mittlere Zeit* angiebt.

§ 96. (Zeitgleichung.) Auch den Punkt des Äquators, an welchem in demselben Augenblicke die wahre Sonne sich aufhält, kann man leicht ermitteln. Die Sonnentafeln enthalten nämlich nebst der mittleren Länge auch die Gleichung der Bahn (§ 83), die, an die mittlere Länge der Sonne angebracht, sofort die wahre Länge derselben ergiebt, aus welcher man mittelst einer kurzen Rechnung deren Rektascension ableiten kann.

Der Unterschied im Stundenwinkel zwischen beiden eben bestimmten Punkten

des Äquators d. h. die Rektascension der wahren Sonne weniger der Länge der ersten oder der Rektascension der zweiten mittleren Sonne, ist offenbar der Unterschied zwischen der mittleren und wahren Sonnenzeit für diesen Augenblick. Man nennt ihn Zeitgleichung und addiert ihn mit seinem Zeichen zur wahren Zeit, um die mittlere Zeit zu erhalten.

Es ist somit sehr leicht, die Zeitgleichung für jeden gegebenen Augenblick durch eine einfache Rechnung und daher auch die wahre Zeit für jede gegebene mittlere Zeit und umgekehrt zu erhalten. Um indes diese Verwandlung noch zu erleichtern, pflegt man in den astronomischen Ephemeriden und den besseren Kalendern diese Zeitgleichung für jeden Mittag des Jahres anzugeben, woraus man sie dann auch leicht für jede zwischen diese Mittage fallende Zeit berechnen kann.

Die Zeitgleichung, also der Unterschied zwischen mittlerer und wahrer Zeit, erreicht den größten Wert Mitte Februar, wo die mittlere Zeit der wahren um $14{\cdot}5^m$ voreilt, und Anfang November, wo sie $16{\cdot}4^m$ hinter ihr zurückbleibt.

§ 97. (Vergleichung der Sternzeit mit der mittleren Sonnenzeit.) Da die in § 95 betrachtete zweite mittlere Sonne mit der ersten zu derselben Zeit durch die beiden Äquinoktien geht, so ist auch die Umlaufszeit beider Sonnen gleich dem tropischen Jahre (§ 85) der Erde, oder gleich 365·24220 mittleren Sonnentagen. In dieser Zeit nimmt also die Länge der ersten oder, was dasselbe ist, die Rektascension der zweiten mittleren Sonne um volle 360^0 zu, und da diese Zunahme durch das ganze Jahr gleichförmig ist, so folgt, daß die Rektascension dieser zweiten mittleren Sonne während der Dauer eines mittleren Sonnentages um 360^0, dividiert durch 365·24220, das heißt um $0{\cdot}9856472^0$ zunimmt. Bringt man diesen Winkel auf Zeit, indem man ihn durch 15 dividiert, so erhält man 0·0657098 Stunden oder $0^h\ 3^m\ 56{\cdot}555^s$, oder endlich 0·0027379 Tage.

Wenn demnach, an einem bestimmten Tage, diese zweite Sonne zugleich mit dem Frühlingspunkt durch den Meridian eines gegebenen Ortes geht, oder wenn für diesen Tag der Anfang des Sterntages und des mittleren Sonnentages auf denselben Augenblick fällt, so wird an dem folgenden Tage die Sonne vermöge ihrer eigenen Bewegung östlich von dem Frühlingspunkte stehen, und zwar, im Augenblicke der zweiten Kulmination der mittleren Sonne, um den 0·0027379sten Teil eines Sterntages, so daß der mittlere Sonnentag gleich 1·0027379 Sterntage und daher auch umgekehrt der Sterntag gleich 1 durch 1·0027379 oder 0·9972696 eines Sonnentages ist. Mit anderen Worten: der mittlere Sonnentag ist um $3^m\ 56{\cdot}555^s$ eines Sterntages länger als der Sterntag, oder der Sonnentag hat $24^h\ 3^m\ 56{\cdot}555^s$ Sternzeit, und der Sterntag hat nur $23^h\ 56^m\ 4{\cdot}091^s$ mittlere Zeit. Daraus folgt zugleich, daß das tropische Jahr oder die Zeit von 365·24220 Sonnentagen gleich ist 366·24220 Sterntagen, oder daß nach Verfluß eines tropischen Jahres der Frühlingspunkt genau einen vollen Umlauf mehr um die Erde gemacht hat, als die mittlere Sonne.

Diesem gemäß dreht sich unsere Erde in einem Sterntag, d. h. in 23^h

$56^m\ 4{\cdot}09^s$ mittlerer Sonnenzeit um ihre Achse, oder in dieser Zeit *scheinen* sich alle Fixsterne, die ihren Ort am Himmel nicht verändern, um die als unbeweglich angenommene Erde zu drehen. Gebraucht man nun eine mittlere Uhr, welche bei jeder Kulmination der mittleren Sonne, also nach Verlauf eines jeden mittleren Tages genau $12^h\ 0^m\ 0^s$ anzeigen soll, so werden die Fixsterne jeden Tag um $3^m\ 55{\cdot}91^s$ mittlerer Zeit früher kulminieren, als an dem vorhergehenden Tage. Man nennt dies die *Acceleration* der Fixsterne. Wegen dieser Acceleration wird die mittlere Zeit der Kulmination jedes Fixsternes nach und nach immer auf eine frühere Tagesstunde fallen, und anfangs, wenn er z. B. bei der Sonne ist, um Mittag, in 3 Monaten später um 6 Uhr morgens, nach 6 Monaten um Mitternacht und nach 9 Monaten um 6 Uhr abends kulminieren.

Was hier von Fixsternen gesagt wurde, gilt natürlich auch vom Frühlingspunkte. Auch dessen Kulmination, und damit der Anfang des Sterntages verfrüht sich, nach mittlerer Zeit gerechnet, täglich um rund 4^m. Der Beginn eines Sterntages wandert infolgedessen im Laufe eines Jahres durch alle Stunden des Tages und der Nacht hindurch, und es ist deshalb die Sternzeit zur Regulierung des bürgerlichen Lebens unbrauchbar. Dem Astronomen hingegen bietet sie so viele Vorteile und Bequemlichkeiten dar, daß er alle seine Beobachtungen nach derselben anstellt. Da nämlich, um dies durch ein einfaches Beispiel zu erläutern, die Sternzeit der Stundenwinkel des Frühlingspunktes ist, und da für jeden Stern im Augenblicke seiner Kulmination dieser Stundenwinkel des Frühlingspunktes der Rektascension des kulminierenden Sternes gleich ist, (Einl. § 23), so ist auch die Sternzeit der Kulmination jedes Sternes gleich der Rektascension desselben, in Zeit ausgedrückt. Es zeigt daher eine nach Sternzeit gehende Uhr stets den Moment der Kulmination eines Fixsternes durch seine Rektascension unmittelbar an, während man beim Beobachten nach einer mittleren Uhr diesen Moment erst aus der mittleren Zeit berechnen muß.

Man kann übrigens eine nach mittlerer Zeit gehende Uhr leicht auf das Maß der Sternzeit regulieren. Zu diesem Zwecke darf man nur die Linse des Uhrpendels so weit erhöhen, oder dem Aufhängepunkte des Pendels nähern, (wodurch der Gang der Uhr beschleunigt wird) bis sie zwischen zwei nächsten Kulminationen eines Fixsternes genau 24 Stunden giebt. Richtet man dann die Zeiger der Uhr noch so, daß sie zur Zeit der Kulmination eines Sternes, dessen Rektascension bekannt ist, die Rektascension desselben anzeigen, so giebt sie unmittelbar Sternzeit an, wie aus dem früheren leicht hervorgeht.

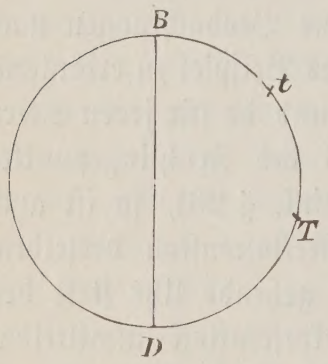
Mittelst der oben gegebenen Relationen zwischen mittlerer Zeit und Sternzeit läßt sich leicht jedes in Sternzeit ausgedrückte Intervall in mittlere Zeit umsetzen, wenn man von jeder Stunde der Sternzeit $9{\cdot}829^s$ subtrahiert. Ebenso verwandelt man umgekehrt jedes Intervall mittlerer Zeit in Sternzeit, wenn man zu jeder Stunde mittlerer Zeit $9{\cdot}846^s$ addiert.

Allein, wie findet man die absolute Sternzeit für einen Augenblick, der

in mittlerer Zeit gegeben ist, oder umgekehrt die mittlere Zeit eines in Sternzeit ausgedrückten Momentes?

Zu diesem Ende hat man sich nur gegenwärtig zu halten, daß die mittlere Zeit eines gegebenen Augenblickes der Stundenwinkel der mittleren Sonne, und die Sternzeit der Stundenwinkel des Frühlingspunktes für denselben Augenblick ist. Es stelle daher der Kreis BTD (Fig. 33) den Äquator und die gerade Linie BD den Durchschnitt des Äquators mit der Ebene des Meridians vor. Sei für den gegebenen Augenblick der Frühlingspunkt in T und die mittlere Sonne in t, so ist der Bogen BT der Stundenwinkel (Einl., § 23) des Frühlingspunktes oder die gesuchte Sternzeit, Bt der Stundenwinkel der zweiten mittleren Sonne oder die gegebene mittlere Zeit, und der Bogen Tt die Rektascension der zweiten oder, was dasselbe ist, die Länge der ersten mittleren Sonne (§ 95). Man sieht daher, daß man für jede gegebene mittlere Zeit zu derselben nur die Rektascension der mittleren Sonne, welche für diese Zeit statthatt, addieren darf, um sofort die gesuchte Sternzeit zu erhalten.

Fig. 33.



Will man umgekehrt eine gegebene Sternzeit in mittlere Zeit umwandeln, so hat man von dieser nur die eben stattfindende Rektascension der mittleren Sonne abzuziehen, um die mittlere Zeit zu erhalten.

Zur Erleichterung dieser Verwandlungen ist in den Ephemeriden und astronomischen Kalendern unter der Bezeichnung Sternzeit im Mittage die Rektascension der mittleren Sonne von Mittag zu Mittag angegeben, aus der man diese Größe sehr bequem für jede zwischenliegende Zeit ableiten kann, da sie täglich um rund 4^m zunimmt. Die Sternzeit eilt deshalb der mittleren Zeit jeden Monat im Durchschnitte um 2 Stunden voraus, und da beim Beginne des Frühlings (20. März) die zweite mittlere Sonne dem Frühlingspunkte sehr nahe steht, also der Anfang des mittleren Tages mit dem des Sterntages nahezu zusammenfällt, erhält man den Unterschied zwischen Sternzeit und mittlerer Zeit genähert auf eine sehr einfache Weise dadurch, daß man ihn, vom 20. März an, für jeden verflossenen halben Monat auf eine Stunde veranschlägt.

§ 98. (Einführung der mittleren Zeit in das bürgerliche Leben.) Nur die wahre Zeit ist Gegenstand der Beobachtung, weil diese an der wahren Sonne angestellt werden kann. Die mittlere Zeit hingegen kann nicht unmittelbar durch Beobachtungen gefunden, sondern aus diesen nur durch Rechnung abgeleitet werden. Im Augenblicke, da man die wahre Sonne durch den Meridian seines Ortes gehen sieht, hat der wahre Mittag statt oder es ist 12^h an diesem Orte. Hat man diese Kulmination der Sonne z. B. am 10 Juli 1894 zu einer Zeit beobachtet, da die dazu gebrauchte Uhr $12^h\ 2^m\ 30^s$ gab, so sagt man: die Uhr ging für diesen Augenblick zu früh um $2^m\ 30^s$ gegen wahre Zeit, und da,

den Ephemeriden zufolge für die Zeit dieses wahren Mittags die mittlere Zeit $12^h\ 5^m\ 7^s$ sein soll, so kann man auch sagen: die Uhr ging in diesem Augenblicke zu spät um $2^m\ 37^s$ gegen mittlere Zeit.

Die älteren Astronomen verglichen durchgängig ihre Uhren mit der wahren Sonnenzeit und dieser Gebrauch war auf dem Festlande Europas noch im Anfange unseres Jahrhundertes üblich. Die englischen Astronomen führten aber seit Bradley, d. h. seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts, die mittlere Zeit bei ihren Beobachtungen ein, indem sie den Stand ihrer Uhren unmittelbar mit dieser letzten verglichen, und dies ist allerdings besser, da diese Zeit gleichförmig fortschreitet, was bei der wahren Sonnenzeit nicht der Fall ist. Deshalb pflegen auch die Astronomen jetzt alle ihre Beobachtungen in mittlerer Zeit anzugeben, obschon sie dieselben alle unmittelbar nach Sternzeit anstellen. In derselben mittleren Zeit werden auch alle Elemente und Tafeln der Planeten berechnet, ebenso wie sich alle bisher angeführten Umlaufszeiten und täglichen Bewegungen durchaus auf mittlere Zeit und mittlere Sonnentage beziehen. Auch im bürgerlichen Leben hat man, wenigstens in den größern Städten, diese mittlere Zeit bereits lange eingeführt, indem man den Bewohnern derselben, etwa von den Sternwarten dieser Städte, jeden Tag den Augenblick des mittleren Mittags durch ein besonderes Zeichen anzugeben pflegt, so daß sie ihre Uhren und dadurch auch ihre Geschäfte nur nach der mittleren Zeit richten, während unsere Vorfahren, die sich an die wahre Zeit hielten, ihre Uhren, selbst wenn sie vollkommen gut, d. h. gleichförmig gingen, an jedem wahren Mittage wieder neu einstellen oder, mit anderen Worten, ihre Uhren durch diese immerwährende Korrektion verderben mußten, um sie dadurch zu zwingen, mit der ungleichförmig gehenden Sonne gleichen Schritt zu halten.

Die Sonnenuhren geben natürlich nur die wahre Zeit an, und man muß daher die Zeitgleichung für alle Mittage des Jahres kennen, um daraus die mittlere Zeit jedes wahren Mittags zu finden, wenn man die Uhr mit mittlerer Zeit vergleichen will. Es haben deshalb auch die Sonnenuhren auf dem Zifferblatte eine kleine Tabelle mit der Angabe dieser Zeitgleichung meist in Intervallen von 10 zu 10 Tagen. Man hat zwar auch an die Sonnenuhren zuweilen eigene Vorrichtungen angebracht, durch welche man aus dem Endpunkte des Schattens ihrer Stifte die mittlere Zeit des wahren Mittags unmittelbar ablesen kann. Man erkennt diese Uhren an einer eigenen Zeichnung, an einer krummen Linie in der Nähe der Schattenlinie des Mittags, welche die Gestalt der Ziffer 8 hat. Allein diese Zeichnungen sind gewöhnlich ziemlich unvollkommen, so daß sie nur eine sehr mäßige Genauigkeit gewähren.

§ 99. (Normal- oder Zonenzeit.) Durch die Einführung der mittleren Zeit ins bürgerliche Leben schien allen billigen Anforderungen für ewige Zeit Genüge geleistet zu sein. Und doch ist dem nicht so, seit die Schnelligkeit unserer heutigen Transportmittel den Begriff Entfernung ganz umgestaltet und Reisen in ehemals

ferne Länder unglaublich erleichtert und vermehrt hat. Auf solchen bemerkt der Reisende, dem die Verschiebung der Tageszeiten mit der Veränderung seiner geographischen Länge (§ 18) unbekannt ist, mit Staunen, daß seine Uhr, fährt er nach Osten, gegen die Angaben der Ortsuhren immer mehr zurückbleibt, fährt er aber nach Westen, ihnen immer mehr vorauseilt, und zwar sehr rasch. Denn in Paris und London, die man mit unseren heutigen Kurierzügen beinahe in weniger Stunden als früher Tagen erreichen kann, geht eine nach Wiener Zeit gerichtete Uhr bereits um 56^m resp. $1^h\,5^m$ zu früh; in Konstantinopel hingegen um 52^m zu spät. Dies kann nun allerdings zuweilen auch einem Reisenden allerlei kleine Unbequemlichkeiten bereiten, die aber im allgemeinen gegenüber den anderen Unbequemlichkeiten, welche jeder weiten Eisenbahnfahrt anhaften, kaum der Rede wert sind; sie dauern überdies auch nur so lange, als er unterwegs ist: denn hat er sein Ziel erreicht, genügt ein Ruck der Hand, die Zeiger seiner Uhr nach einer richtig gehenden Ortsuhr zu stellen, — und alles ist wieder in Ordnung. Weit größere Übelstände, denen auch nicht so einfach abzuhelfen ist, zog dies indes für die Verwaltungen der großen Transportunternehmungen nach sich. Des eben hervorgehobenen Umstandes wegen beträgt nämlich beim Rechnen nach Lokalzeiten, wie man leicht erkennt, die eigentliche Fahrtdauer eines Zuges nicht einfach die Differenz zwischen der Ankunfts- und Abfahrtszeit an beiden Stationen, sondern bei Fahrten nach Westen diese *mehr*, bei Fahrten nach Osten hingegen diese *weniger* der Längendifferenz beider Stationen. So ist die Fahrtdauer eines Expreßzuges, der in Wien um $9^h\,50^m$ abends abfährt und in München um $7^h\,20^m$ morgens ankommt, nicht $9^h\,30^m$, sondern $9^h\,30^m$ *mehr* 19^m, also $9^h\,49^m$; hingegen die Fahrtdauer eines Zuges, der in München um $8^h\,10^m$ abends weggeht und Wien um $6^h\,20^m$ morgens erreicht, $10^h\,10^m$ *weniger* 19^m d. h. $9^h\,51^m$. Es verkehren daher diese beiden Züge mit derselben Schnelligkeit, obwohl der letztere dem Fahrplane nach viel langsamer zu gehen scheint. Die Bahnverwaltungen können aber selbstverständlich den Betrieb nicht nach der scheinbaren, sondern nur nach der wahren Fahrtdauer der Züge regeln; es ist daher unter Festhalten an Lokalzeiten bei der Feststellung der Fahrordnungen, bei Erhebungen über Fahrgeschwindigkeiten u. s. w. ein beständiges Verändern der Zeitangaben um die Längendifferenz der in Frage kommenden Stationen erforderlich, wobei man auch noch die Richtung zu beachten hat, in welcher gefahren wird. Um diesem auszuweichen, ergriff man das Auskunftsmittel, alle Züge eines größeren Eisenbahnkomplexes nach der Ortszeit einer in seinem Innern liegenden größeren Stadt verkehren zu lassen, wozu man gewöhnlich die Hauptstadt des Landes wählte, wenn ihre Lage nicht etwa zu excentrisch ist und sie sich deshalb aus leicht begreiflichen Gründen hierfür nicht recht eignete. So verkehrten die Züge der deutschösterreichischen Länder nach Prager, die ungarischen nach Budapester, die bayerischen nach Münchener, die italienischen nach römischer, die französischen nach Pariser Zeit u. s. w.

Dieses Auskunftsmittel macht sich im Lokalverkehre dadurch fühlbar, daß die Bahnuhren mit den Uhren des Ortes nicht gleich gehen, oder, wie man es gewöhnlich ausdrückt, daß die Bahnzeit mit der Ortszeit nicht zusammenfällt, was besonders für den Fremden nicht selten recht unangenehm werden kann. In Ländergebieten, deren Ausdehnung von West nach Ost eine geringe ist, läßt sich auch dieser Übelstand leicht beseitigen, besonders dann, wenn ihre Lage eine verhältnismäßig isolierte ist und sie daher selten Gelegenheit haben, mit ihren Nachbarn in direkten Verkehr zu treten, wie dies bei England, Irland und Skandinavien der Fall ist.

Wir haben nämlich oben (§ 96) gesehen, daß die wahre Zeit bis zu einer Viertelstunde von der mittleren abweicht, und bei der Einführung der letzteren die Erfahrung gemacht, daß die bürgerlichen Verhältnisse wenigstens in größeren Städten, in denen die Geschäfte der Bewohner minder von den Tageszeiten beeinflußt werden, als auf dem Lande, eine derartige Abweichung von der wahren Zeit ohne Schaden vertragen. In Ländergebieten wie den oben genannten kann man daher ohne eine empfindliche Störung statt der mittleren Ortszeit auch die mittlere Zeit der Hauptstadt substituieren, und hat so auf die einfachste Weise alle Erfordernisse des bürgerlichen und Verkehrslebens mit den Erfordernissen einer exakten Zeitrechnung in Einklang gebracht. In der That wird auch bereits seit 1848 in ganz England und Schottland nur nach Greenwicher Zeit gerechnet und die Uhren der Hauptstädte Englands werden von der Sternwarte von Greenwich aus direkt reguliert. Erst beim Betreten des irischen Bodens stößt man auf einen neuen Zeitkreis, den von Dublin, der ebenso universell für Irland Giltigkeit hat. In Ländergebieten, deren Ausdehnung von Ost nach West eine erhebliche ist, läßt sich aber dieses System schwerlich so leicht einführen und aufrecht halten, worauf wir später zurückkommen werden.

In Bezug auf den Weltverkehr besteht der Hauptmangel des oben erwähnten Auskunftsmittels darin, daß an den Übergangsstationen des Zeitkreises der einen Bahn in den Zeitkreis einer anderen Zeitsprünge eintreten im Betrage der Längendifferenz der Orte, nach deren Zeiten die beiden Züge abgelassen werden. So kam man beispielsweise beim Übertritte von Österreich nach Bayern, aus dem Zeitkreise der Prager Zeit in den der Münchener, machte also unvermittelt einen Sprung von 11^m, beim Übergange von Italien nach Frankreich einen von 41^m u. s. w.

Diese Zeitsprünge werden natürlich um so unbequemer, wenn sie von sehr verschiedener Dauer sind, in Intervallen von räumlich sehr verschiedener Größe auftreten, und häufig wiederkehren. Alles dies mußte sich natürlich am stärksten in einem geeinigten Staatswesen fühlbar machen, das wie Nordamerika sich von der Küste des Atlantischen bis zu der des Stillen Oceans über eine Ausdehnung von 100 Längengraden oder nahezu 7 Stunden erstreckt, und in dem die Zahl der von einander verschiedenen Eisenbahnzeiten nach und nach auf 74 gestiegen

war. Um die dadurch entstandene Verwirrung zu beheben, schlug der Chef des Verkehrswesens von Canada Sandford Fleming im Jahre 1879 vor, die ganze Erde durch 24 Meridiane in gegenseitigen Abständen von je 15° oder 1 Stunde in 24 sphärische Zweiecke zu teilen, und innerhalb jedes solchen nur die Lokalzeit des durch seine Mitte ziehenden Meridianes zu verwenden. Die so entstandenen 24 Zeiten, die man als Normal- oder Zonenzeiten bezeichnen kann, werden überall dort, wo sie zusammenstoßen, genau um 1 Stunde von einander differieren, und da der Anfangsmeridian, von welchem aus die Teilung der Erde in die 24 Zeitgruppen erfolgt, beliebig ist, wäre es am entsprechendsten, hierfür den Meridian von Greenwich zu wählen, weil auf diesen bereits die größte Anzahl der Kartenwerke bezogen ist, und damit die Normalzeiten in eine einfache Relation zu den geographischen Längen treten würden.

Dieser Vorschlag wurde auf einer im Frühjahre 1883 abgehaltenen Konferenz sämtlicher Eisenbahndirektoren Nordamerikas auf Antrag des Sekretärs dieser Konferenz W. Allen angenommen, und Canada nebst dem größten Teile der Vereinigten Staaten in 4 Zeitzonen geteilt, deren Normalzeiten durch die mittlere Ortszeit der 75°, 90°, 105° und 120° (oder 5^h, 6^h, 7^h und 8^h) westlich von Greenwich gelegenen Meridiane bestimmt werden. Im November 1883 wurde dieses Zeitsystem nicht nur für den Eisenbahnverkehr, sondern auch im öffentlichen Leben überhaupt eingeführt.

In Europa wurde die Einführung der Zonenzeit im Eisenbahnverkehre zuerst Ende 1888 in einer Konferenz der Eisenbahndirektoren Ungarns angeregt, und von der österreichisch-ungarischen Regierung unter der Bedingung gutgeheißen, daß dieselbe gleichzeitig auch in Deutschland beschlossen werde. Dies geschah im Jahre 1890 auf einer Konferenz der Eisenbahndirektoren von Österreich-Ungarn und Deutschland, worauf die Zonenzeit zunächst im internen, und bald darauf auch im öffentlichen Verkehre beider Länder, unter dem Namen „mitteleuropäische Zeit" eingeführt wurde.

Mit der Einführung der Zonenzeit im Verkehrswesen begnügte man sich aber nicht, sondern will unter einem, wie in Amerika, auch im bürgerlichen Leben die Ortszeit ganz abschaffen, und durch Zonenzeit ersetzen, wie denn auch in der That diesbezügliche Gesetze bereits in Belgien und Deutschland erflossen sind. Ob dies namentlich in Ländern mit großer Längenausdehnung, wie Deutschland und Österreich zweckmäßig ist, und auf die Dauer durchführbar sein wird, muß erst die Erfahrung lehren. Im Verkehrswesen bezeichnet deren Einführung unverkennbar einen Fortschritt, indem damit die Zahl der Zeitsprünge erheblich verringert, und jeder derselben auf die gleiche leicht zu merkende Größe, nämlich eine Stunde zurückgeführt wird. Anders aber liegt die Sache für das bürgerliche Leben. Während nämlich die Zeitsprünge nur den Reisenden, und auch diesen nur beim Überschreiten der Grenze zweier Zeitkreise belästigen, werden durch das Einführen der Zonenzeit ins bürgerliche Leben die aus den Zeitsprüngen entstehenden

Unbequemlichkeiten allen längs der Grenze zweier Zeitzonen lebenden Bewohnern und zwar für beständig aufgebürdet. Dazu tritt noch der Umstand, daß an der östlichen Grenze einer Zone die Zonenzeit der Ortszeit um 30^m nachgeht, an der westlichen Grenze hingegen um ebensoviel voreilt. Dies bewirkt, daß in Verbindung mit der Zeitgleichung (§ 96) an der Ostgrenze einer Zone Anfangs November die Zonenzeit gegen die wahre Ortszeit um 46^m zurückbleibt, an der Westgrenze hingegen ihr Mitte Februar um 44^m vorgeht. Allein damit noch nicht genug. Die Grenzen des Geltungsgebietes einer Zonenzeit können nicht durch geographische Meridiane, sondern naturgemäß nur durch die Landesgrenzen bestimmt werden, die stellenweise oft weit über die angenommene Zonengrenze hinausgreifen. So reicht die mitteleuropäische Zeit statt von $7^0\,30'$ bis $22^0\,30'$ westlicher Länge von Greenwich, von $6^0\,10'$ (Metz) bis $26^0\,11'$ (Suczawa): am erstgenannten Orte geht daher Mitte Februar die Zonenzeit der wahren Zeit um 50^m vor, im erstgenannten hingegen Anfang November sogar um eine volle Stunde nach. Dies bedingt, daß an diesem Orte jene Stunde, die wir als Mitte des Tages zu bezeichnen gewohnt sind (12^h), von dieser bis auf 50^m und 1^h abweichen kann, wodurch eine so unsymmetrische Verteilung der Vormittags- und Nachmittagsstunden unter den Tageszeiten hervorgerufen wird, daß dies im bürgerlichen Leben wohl große Inkonvenienzen nach sich ziehen dürfte. Endlich fällt die Mitte des Tages beim Rechnen nach Ortszeit, auf der ganzen Erde, im Durchschnitte immer auf 12 Uhr: hingegen in Zonenzeit ausgedrückt, an der Ostgrenze auf $11^1/_2{}^h$, an der Westgrenze auf $12^1/_2{}^h$; bei Ortsveränderungen von Ost gen West und umgekehrt verschiebt sich daher die Relation zwischen gezählter Stunde und Tageszeit ganz erheblich, — und dies ist sicher der wundeste Punkt der Zonenzeit.

Kapitel X.

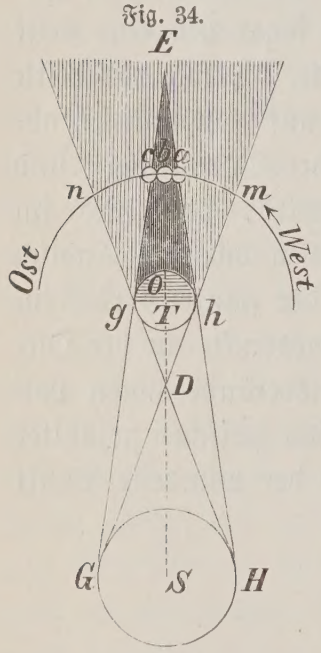
Verfinsterungen des Mondes und der Sonne.

§ 100. (Mondfinsternisse.) Da die Erde eine an sich dunkle Kugel ist, welche ihr Licht nur von der Sonne erhält, so wird sie, wenn sie von der Sonne beschienen wird, einen Schatten hinter sich werfen. Dieser Schatten hat die Gestalt eines Kegels, dessen Basis gleich dem Umfang der Erde und dessen Länge etwa $3^1/_2$ mal größer als die Entfernung des Mondes von der Erde ist, also 216 Erdhalbmesser oder 1 378 000 km beträgt. Die ganze Breite dieses Kegels an dem Orte, wo er von der Mondbahn geschnitten wird, beträgt im Durchschnitt $2^2/_3$ Durchmesser des Mondes oder 9200 km.

Sei nämlich S (Fig. 34) der Mittelpunkt der Sonne, T der der Erde und a, b, c der des Mondes in seiner Bahn mn. Zieht man die Tangenten HhE und GgE an denselben Seiten der Sonne und der Erde, so stellt gEh den vollen

oder Kernschatten der Erde vor, nämlich jenen Raum, in welchen von keinem Punkte der Sonne Licht gelangt, oder mit anderen Worten, jenen Raum, der vollständig finster ist. Zieht man aber Hgn und Ghm an entgegengesetzte Seiten von Sonne und Erde, so begrenzen diese Tangenten den Halbschatten der Erde, d. h. jenen Raum, welcher nur von einem Teile der Sonne Licht erhält. Wenn also der Mond auf seinem Wege um die Erde in dem Punkte m ankommt und von da weiter gegen n fortschreitet, verliert er immer mehr vom Anblicke der Sonne, und zwar der östlichen Seite derselben, bis er, bei a angelangt, nach und nach in den Kernschatten eindringt, wodurch ein immer größerer Teil desselben die Sonne gar nicht mehr erblickt, also vollständig verfinstert wird. Dies dauert so lange, bis er bei c wieder allmählich aus dem Kernschatten heraustritt, wo ihm nun nach und nach ein immer größerer Teil der östlichen Seite der Sonne frei wird, bis er sie endlich in n wieder ganz erleuchtet erblickt.

Fig. 34.



So lange der Mond im Halbschatten ma oder cn verweilt, wird er immer noch von der Sonne, obschon desto schwächer beleuchtet, je näher er den Punkten a oder c steht. Man sieht ihn deshalb vor dem Eintritte in den Vollschatten, und nach dem Austritte aus demselben wie mit einer Nebel- oder Rauchwolke überzogen, deren Grenze sehr unbestimmt und verwaschen ist. Es werden deshalb auch nur jene Verfinsterungen als Mondfinsternisse betrachtet, bei denen der Mond in den Kernschatten eintritt, und jene, in denen er bloß durch den Halbschatten hindurchgeht, in den Ephemeriden und Kalendern nicht angegeben. Übrigens läßt sich der Augenblick des Eintrittes des Mondrandes in den Schattenkegel ebenso wenig scharf beobachten, als der seines Austrittes aus demselben, weil der Halbschatten mit seiner Annäherung an den Kernschatten immer dichter wird, so daß die eigentliche Grenze zwischen beiden Schatten nicht mit Sicherheit erkennbar ist. Es wird deshalb auch ein Beobachter den Schattenrand im allgemeinen nicht dahin versetzen, wo der Rand des geometrischen Kernschattens die Mondoberfläche trifft, sondern weiter nach außen, und infolge dessen den Eintritt des Mondes in den Kernschatten früher, seinen Austritt später notieren, als es der Fall sein sollte. Dieser Umstand bewirkt eine scheinbare Vergrößerung des Durchmessers des Schattenkegels, die nach eingehenden Untersuchungen von Dr. J. Hartmann im Durchschnitte 49″ (genauer den 70. Teil der Mondparallaxe) beträgt. Aber auch bei einem vollständigen Eintauchen des Mondes in den Kernschatten, sieht man ihn, besonders durch Fernrohre immer noch in einem schwachen, meist rötlichen oder kupferfarbigen Lichte schimmern, wohl infolge der Brechung der Sonnenstrahlen in der Erdatmosphäre, und des Um-

standes, daß diese die Strahlen am violetten Ende des Spektrums stärker absorbiert, als die am roten. Bei partiellen Verfinsterungen mag in dieser Beziehung auch der Kontrast mit dem gelblichen Lichte des noch unverfinsterten Mondes in Betracht kommen.

Wenn die Bahn des Mondes mit der Ekliptik zusammenfiele, müßte der Mond jedesmal zur Zeit seines vollen Lichtes, wo er der Sonne gerade gegenübersteht (Abt. 2, Kap. XI) in den Schattenkegel der Erde treten, und uns daher jeden Monat das Schauspiel einer Mondfinsternis geben. Da aber jene beiden Ebenen einen Winkel von 5° mit einander bilden, geht der Mond meistens über oder unter diesem Schattenkegel weg, ohne ihn zu berühren, und kann nur dann verfinstert werden, wenn er zur Zeit des Vollmondes von einem seiner Knoten höchstens 12° entfernt ist, was in einem Jahrhunderte durchschnittlich 154mal der Fall ist. Wenn dabei der Mond nahe durch die Mitte des Kernschattens geht, wird seine ganze Scheibe davon eingehüllt, und die Finsternis eine totale sein. Wenn er aber nur durch den nördlichen oder südlichen Teil desselben geht, wird dort bloß der südliche, hier bloß der nördliche Rand des Mondes verfinstert, und die Finsternis bloß partial sein.

Die Größe der Mondfinsternisse pflegte man früher gewöhnlich in Zwölfteln des Monddurchmessers anzugeben, die man Zolle nannte, so daß man eine Finsternis, bei welcher der Rand des Schattens eben noch den Mittelpunkt des Mondes erreicht, als sechszöllig, eine gerade noch totale als zwölfzöllig bezeichnete. Da aber, wie oben erwähnt wurde, der Durchmesser des Schattenkegels den des Mondes nahezu um das Dreifache übertrifft, rechnete man bei totalen Finsternissen zu den 12 Zoll noch den wieder in solche Zolle umgewandelten Abstand des Mondrandes vom nächsten Schattenrande hinzu, so daß die größten totalen Mondfinsternisse bis auf nahezu 23 Zoll steigen konnten. In neuerer Zeit giebt man aber zweckmäßiger unmittelbar an, der wie vielte Teil des Monddurchmessers verfinstert wird, wonach eine sechszöllige Mondfinsternis jetzt die Größe 0·5, eine gerade noch totale 1·0 erhält. Taucht der Mond tiefer in den Kernschatten ein, so wird ebenso wie früher noch der Abstand des Mondrandes vom Schattenrande in Teilen des Monddurchmessers hinzugefügt.

In den nächsten 15 Jahren werden sich noch 13 totale Mondfinsternisse ereignen; nämlich:

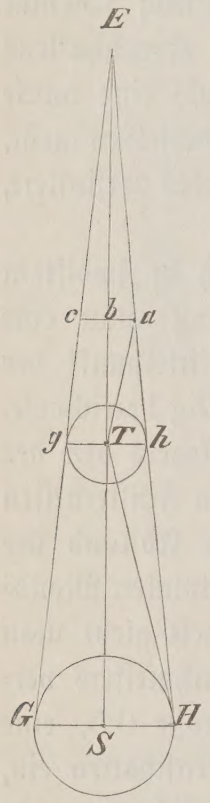
1895	11. März,	hauptsächlich sichtbar in	Amerika, Afrika.
1895	4. September,	= = =	Süd-Amerika.
1898	27. Dezember,	= = =	Europa, Afrika.
1899	23. Juni,	= = =	Australien.
1899	17. Dezember,	= = =	Europa, Afrika.
1902	22. April,	= = =	Asien.
1902	10. Oktober,	= = =	Central-Amerika.
1906	9. Februar,	= = =	Central-Amerika.

1906 4. August, hauptsächlich sichtbar in Australien.
1909 4. Juni, = = = Südamerika, Afrika.
1909 27. November, = = = Nordamerika.
1910 24. Mai, = = = Südamerika.
1910 17. November, = = = Europa, Afrika.

Die ältesten auf uns gekommenen eigentlichen Beobachtungen von Mondfinsternissen stammen nach Ptolemäus von den Chaldäern in Babylon, und reichen bis auf die Jahre 719 und 720 v. Chr. zurück.

§ 101. (Berechnung einer Mondfinsternis.) Um unseren Lesern einen Begriff von der Art zu geben, wie man eine Mondfinsternis berechnet, wollen wir zuerst bemerken, daß man den astronomischen Kalendern, den sogenannten Ephemeriden, von der Sonne sowohl als auch von dem Monde, Länge, Breite, Halbmesser und Parallaxe, nebst den stündlichen Änderungen dieser Größen entnehmen kann. Betrage nun die Differenz der stündlichen Bewegung des Mondes und der Sonne in Länge 30′ und in Breite 9′, so findet man, wenn man diese zwei Größen als die beiden Katheten eines rechtwinkligen Dreieckes ansieht, daß dessen Hypotenuse 31·3′ beträgt. Diese Hypotenuse stellt die relative stündliche Bewegung des Mondes gegen die Sonne, oder gegen den Schattenkegel der Erde vor, während der Winkel an der kleineren Kathete, dessen Tangente 30 : 9, hier also 73° 18′ ist, den Winkel angiebt, den die relative Bewegung des Mondes mit dem Breitenkreise einschließt.

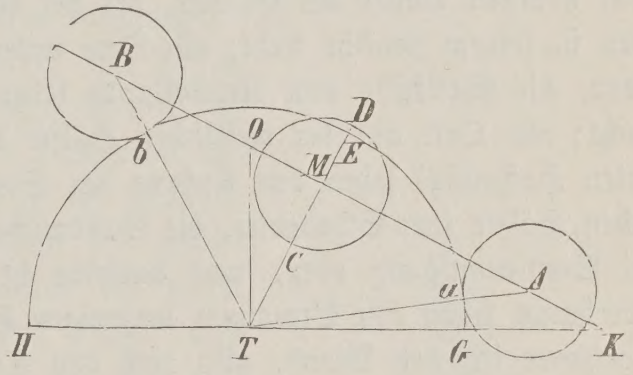
Fig. 35.



Es sei nun in Fig. 35, so wie früher, S der Mittelpunkt der Sonne und T der der Erde, so sieht ein Beobachter im Mittelpunkte der Erde den Halbmesser des Schattenschnittes in der Entfernung ac des Mondes unter dem Winkel bTa. Der Winkel Tah ist aber (§ 40) die Horizontalparallaxe des Mondes, ebenso der Winkel THh die der Sonne, endlich der Winkel STH der scheinbare Halbmesser der Sonne. Da ferner bekanntlich die Summe der Winkel eines Dreiecks 180° beträgt, ist im Dreiecke aTH der Winkel aTH gleich 180°, vermindert um die Summe der Horizontalparallaxe von Mond und Sonne. Andererseits ist auch die Summe der drei Winkel STH, HTa und aTb gleich zwei Rechten, und daher schließlich der Winkel bTa, unter dem man vom Centrum der Erde aus den Halbmesser des Schattenkegels sieht, gleich der Summe der Horizontalparallaxen von Mond und Sonne, vermindert um den scheinbaren Halbmesser der Sonne. Sei endlich (Fig. 36) T der Mittelpunkt des kreisförmigen Schattenschnittes GEH und GTH die Ekliptik, wo man den Halbmesser TG oder TE dieses Kreises auf irgend einen geradlinigen Maßstab gleich der Summe der Horizontalparallaxen von Mond und Sonne, weniger dem Halbmesser der Sonne aufträgt. Mit demselben Maßstabe trage man auf GH die Senkrechte TO gleich der Breite des Mondes

zur Zeit des Vollmondes auf und zeichne in dem Punkte O den Winkel TOK gleich 73° 18′, so wird die Linie KMB die scheinbare Bahn des Mittelpunktes des Mondes ausdrücken. Zieht man aus demselben Punkte T auf diese Bahn die Senkrechte TM, so kennt man in dem bei M rechtwinkeligen Dreiecke TOM die Seite TO und den Winkel bei O; also kann man auch (§ 23) die Seiten TM und OM finden, und OM, durch die obige stündliche Bewegung 31·3′ dividiert, wird die Zeit geben, in welcher der Mond diesen Teil OM seiner Bahn durchläuft. Der Endpunkt M dieses Teiles ist offenbar der Ort des Mittelpunktes des Mondes zur Zeit der Mitte der Finsternis, da er hier unter allen Punkten der Bahn KB dem Mittelpunkte T des Schattens am nächsten ist, da also auch hier die Verfinsterung des Mondes am größten sein muß. Weil aber die Zeit, wo der Mond in O steht, bereits bekannt ist (denn dies ist eben die Zeit des Vollmondes), so wird man dazu nur die jetzt ebenfalls bekannte Zeit setzen, in welcher der Mond den Bogen OM zurücklegt, und sofort auch die Zeit der Mitte der Finsternis erhalten.

Fig. 36.



Um nun auch den Anfang oder das Ende der Finsternis zu finden, wollen wir bemerken, daß der Mittelpunkt des Mondes zu Anfang der Finsternis in A und zu Ende derselben in B ist, so daß, für diese beiden Lagen, der Rand des Mondes den Rand des Schattenschnittes eben berührt, daß also auch die Linie TA oder TB gleich der bekannten Summe der Halbmesser des Schattens und des Mondes ist. Demnach kennen wir wieder in dem bei M rechtwinkeligen Dreiecke TMA die Seite TA und, aus dem Vorhergehenden, die Seite TM, also kann man auch daraus (§ 23) die Seite MA finden, die gleich MB ist. Verwandelt man diese Seite in Mondzeit (durch die Division von 31·3′ in unserem Beispiele), und addiert oder subtrahiert man endlich diese Zeit von der bereits bekannten Zeit der Mitte der Finsternis, so erhält man die gesuchte Zeit des Anfangs und des Endes derselben.

Will man auch die Größe CE der Verfinsterung des Mondes wissen, so ist diese offenbar gleich TE − TC oder TE + CM − TM, d. h. gleich der Summe der Halbmesser des Schattens und des Mondes, weniger der schon vorhin gefundenen Größe TM. Man sieht, daß es im Grunde sehr leicht ist, eine Mondfinsternis zu berechnen, da man dazu bloß die ersten Elemente der ebenen Trigonometrie (§ 23) zu kennen braucht, und daß daher die mit diesen Gegenständen Unbekannten mit Unrecht einen so großen Wert auf diese Rechnungen legen, als wären sie das Schwerste und Höchste, was ein Astronom zu leisten imstande ist.

Um nun noch zu erfahren, an welchen Orten der Erde eine auf diese Weise berechnete Mondfinsternis sichtbar ist, braucht man nur zu bedenken, daß dies überall dort der Fall ist, wo der Mond zur Zeit der Finsternis sichtbar ist. Das Problem reduziert sich also darauf, jene Gegenden zu ermitteln, in denen der Mond zur Zeit der Finsternis über dem Horizonte steht, was sich zwar unschwer durch Rechnung leisten läßt, einfacher und verständlicher aber mit Hilfe eines Erdglobus (Kap. XII) gefunden werden kann.

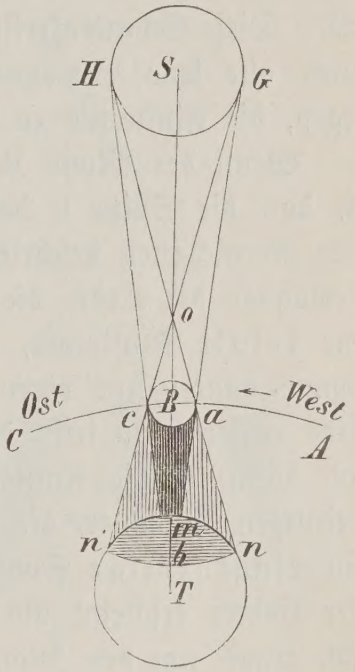
Nehmen wir, um uns das hierbei einzuschlagende Verfahren durch ein Beispiel deutlich zu machen, an, daß Anfang und Ende einer Finsternis um 6^h und um 10^h abends Wiener Zeit gefunden wurde, und daß die nördliche Deklination des Mondes zur Zeit der Finsternis 20^0 betrage. Dies vorausgesetzt, stelle man den Nordpol des Globus 20^0 über seinen Horizont, so wird der irdische Parallelkreis, der die geographische Breite von 20^0 hat, durch den höchsten Punkt des Globus gehen. Man bringe nun Wien unter die untere Hälfte des Meridians von Messing und stelle den Zeiger der Rose auf 12^h. Dann drehe man den Globus gen Ost um 6 Stunden, so steht der Punkt der Erde (Cochinchina) auf dem höchsten Punkt des Globus, der bei dem Anfang der Finsternis den Mond eben in seinem Zenithe sieht; alle Orte unter dem Meridian des Globus (Irkutsk, Java, die Westküste von Neuholland) sehen den Anfang zur Zeit ihrer Mitternacht; alle Orte auf der westlichen Hälfte des Horizonts (Spanien, das Kap der guten Hoffnung) sehen den Anfang bei Sonnenuntergang, und alle auf der östlichen Hälfte (der Sklavensee, die Sandwichinseln, Neuseeland) sehen den Anfang bei Sonnenaufgang oder, was dasselbe ist, bei dem Untergang des Mondes. Überhaupt sehen alle Bewohner derjenigen Hälfte des Globus, die jetzt über dem Horizonte ist, den Mond, also auch den Anfang der Finsternis, während die in der unteren Hälfte den Anfang nicht sehen können. — Dreht man dann den Globus noch weiter gegen Ost, bis der Zeiger 10^h giebt, so werden alle jetzt über dem Horizonte liegenden Orte das Ende der Finsternis sehen; die unter dem Meridian (Archangel, Teheran, die östliche Spitze von Afrika) sehen das Ende bei Mitternacht u. s. w. Diejenigen, welche bei der ersten Stellung des Globus über und bei der zweiten unter dem Horizonte waren, sehen den Anfang, aber nicht das Ende; die bei der ersten Stellung unter und bei der zweiten über dem Horizonte waren, sehen bloß das Ende, und die bei beiden Stellungen über oder unter dem Horizonte lagen, sehen die ganze Finsternis oder gar nichts von derselben. Man kann sich von diesen vier Arten von Zuschauern einen schnellen Überblick verschaffen, wenn man in jenen beiden Stellungen des Globus den Durchschnitt desselben mit dem Horizonte durch Kreide bezeichnet, wodurch man zwei größte Kreise der Kugel erhält, die sich durchkreuzen und die erwähnten 4 Gattungen von Zuschauern von einander scheiden.

§ 102. (Sonnenfinsternisse.) Oft sieht man den Schatten einer Wolke, wenn sie von den Winden getrieben wird, über die Erde ziehen und, wenn der Schatten

den Zuschauer erreicht, ihm den Anblick der Sonne rauben, während andere, außerhalb dieser Schattengrenze, noch von ihr beschienen werden. Dies ist ein treues Bild der merkwürdigen Erscheinung, die der Mond öfter zur Zeit seines Neulichtes darbietet. Dann steht er nämlich in derselben Gegend des Himmels wie die Sonne, und wenn ihn seine Bahn für unseren Standpunkt nahe genug bei der Sonne vorüberführt, so wird er auch allen denjenigen Bewohnern der Erde, die sich in der geraden Linie, die durch Sonne und Mond geht, befinden, den Anblick der Sonne entziehen oder eine Sonnenfinsternis verursachen.

Während also die Mondfinsternisse nur zur Zeit des Vollmonds statthaben, wo sich die Erde in gerader Linie zwischen Sonne und Mond befindet, ereignen sich im Gegenteile die Sonnenfinsternisse nur zur Zeit des Neumonds, wo der Mond in gerader Linie zwischen Sonne und Erde steht. Seien T, B und S (Fig. 37) die Mittelpunkte der Erde, des Mondes und der Sonne zur Zeit des Neumonds. Zieht man die Tangenten Ga und Hc auf denselben Seiten des Mondes und der Sonne, so erhält man dadurch den kegelförmigen Kernschatten amc, den der Mond auf die Erde wirft, und dessen Spitze, wenn sie in die Erde eindringen könnte, bis b reichen würde. Zieht man aber die Tangenten Hn und Gn' auf entgegengesetzten Seiten des Mondes und der Sonne, so erhält man dadurch den Halbschatten acnn' des Mondes, der ebenfalls ein Kegel ist, dessen Spitze aber in o, zwischen Mond und Sonne, liegt.

Fig. 37.



Der Beobachter m, in der Mitte des vollen Schattens oder in der Achse BbT des Schattenkegels, sieht die Sonne von dem Monde gänzlich bedeckt. Der Beobachter n, an der westlichen Grenze des Halbschattens, sieht zu derselben Zeit die Berührung der Ränder beider Gestirne am östlichen Sonnenrande, der in n', am westlichen, die Zuschauer zwischen m und n sehen den östlichen Teil der Sonne bei H, und zwar desto mehr bedeckt, je näher sie selbst bei m stehen, und die zwischen m und n' endlich sehen die westliche Seite der Sonne, bei G, desto mehr verfinstert, je näher auch sie bei m stehen. Die außer dem Bogen nn' liegenden Beobachter aber bemerken in diesem Augenblicke von der Finsternis gar nichts. Daraus ersieht man, daß die Sonnenfinsternisse keineswegs für alle Orte der Erde in demselben Augenblicke gleich groß erscheinen, wie dies bei den Mondfinsternissen der Fall war. Die Ursache davon liegt in der Parallaxe des Mondes (§ 40) oder in der Verschiedenheit des Ortes, den er, für verschiedene Zuschauer auf der Oberfläche der Erde, am Himmel einzunehmen scheint. Man kann die Sache aber auch so auffassen, daß

bei einer Mondfinsternis alle Bewohner der Erde, die überhaupt noch den Mond sehen, die Finsternis in demselben Augenblicke und auch von derselben Größe erblicken, weil hier der Mond durch den Erdschatten seines Lichtes in der That beraubt wird. Bei einer Sonnenfinsternis aber wird das Licht der Sonne durch den Mond nur abgeblendet, und zwar nur für diejenigen, welche sich in der Richtung der durch Sonne und Mond gehenden Linie befinden, während die außer jener Richtung liegenden Bewohner der Erde, wie oben bei der Wolke, diese Finsternis entweder gar nicht oder doch in einer anderen Größe sehen. Man erkennt daraus, daß die Berechnung einer Sonnenfinsternis mehr Schwierigkeiten darbietet als die einer Mondfinsternis, weil dort auch auf den Stand des Beobachters Rücksicht genommen werden muß, was hier ganz wegfällt.

Der Kernschatten amc (Fig. 37), sowie der ihn umgebende viel größere Halbschatten acnn' breiten sich über die Erde in einem kreisförmigen Raume aus. Diese Schattenkreise ziehen während der Finsternis über die Erde hin, wodurch alle jene Bewohner der Erde, die auf dem Schattenwege des Mondes liegen, die Finsternis zu sehen bekommen: allen anderen ist sie unsichtbar.

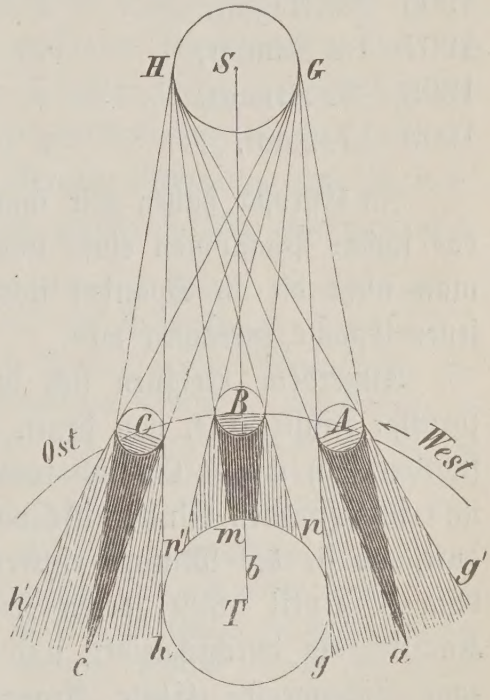
Wenn der Mond B zur Zeit seines Neulichts so weit von der Erde entfernt ist, daß die Spitze b des Kernschattens nur eben die Erde berührt, so geht der vom Kernschatten beschriebene Kreis in einen einzigen Punkt über, und diejenigen Bewohner der Erde, die auf dem Wege dieses Punktes liegen, sehen zwar noch eine totale Finsternis, aber ohne Dauer, d. h. die völlige Verdunkelung der Sonne dauert nur einen Augenblick. Ist aber der Mond noch weiter von der Erde entfernt, so trifft die Spitze b des Kernschattens die Erde gar nicht mehr, und dann ist die Finsternis nirgends auf der Erde total; aber dafür werden diejenigen Zuschauer, die auf dem Wege der verlängerten Schattenachse Bm liegen, eine ringförmige Sonnenfinsternis sehen, wo die Sonne von dem Monde, der hier kleiner erscheint als jene, zwar nahe oder ganz central bedeckt wird, aber doch rings um den Mond noch ein Teil der Sonne in der Gestalt eines lichten Ringes frei bleibt. Die Breite dieses Ringes kann gegen $1^1/_2{}'$ betragen.

Der Mond bewegt sich bekanntlich in seiner Bahn von West nach Ost oder von A nach B (Fig. 38), und ebenso dreht sich auch die Erde T in ihrer täglichen Bewegung in der Richtung gmh um ihre Achse. Wenn daher der Mond auf seinem Wege in den Punkt A kommt, so berührt der östliche Rand seines Halbschattens die Erde auf der Westseite in g. Die Bewohner der Umgegend von g sehen also, unter allen Zuschauern zuerst, die Sonne verfinstert. Der Anfang der Finsternis für die Erde überhaupt hat auf dem Westrande der Sonne statt, und er ereignet sich, wie man aus dem bloßen Anblicke der Zeichnung sieht, in dem Augenblicke, da den Bewohnern der Umgegend von g die Sonne eben aufgeht. — Gelangt der Mond gegen das Ende der Finsternis in den Punkt C seiner Bahn, so berührt jetzt der westliche Rand des Halbschattens die Erde auf der Ostseite in h, und die Bewohner der Umgegend von

h sehen, unter allen Orten der Erde, die Sonne zuletzt an ihrem östlichen Rande und zwar zu derjenigen Zeit verfinstert, wo ihnen die Sonne eben untergeht. Da übrigens der Mondschatten, sowie der Mond selbst, von West nach Ost über die Erde zieht, so müssen die westlichen Länder der Erde die Sonne früher verfinstert sehen als die östlichen.

Solche Finsternisse, bei welchen die Schattenachse SBb noch die Erdoberfläche trifft, werden centrale genannt, gleichviel ob sie dabei ringförmig oder total ausfallen, weil es bei diesen Finsternissen immer eine Reihe von Erdorten giebt, für welche sich das Centrum von Sonne und Mond decken. Geht hingegen die Schattenachse am Erdkörper vorüber, während ihn noch der Halbschatten streift, dann sieht kein Erdort die Sonne total oder ringförmig verfinstert, und es entsteht eine sogenannte partielle Finsternis. Übrigens ist zu bemerken, daß der Durchmesser des Kernschattenkegels auf der Erdoberfläche kaum je auf 300 km steigen kann, und daß deshalb auch bei einer totalen Sonnenfinsternis nur ein sehr schmaler Erdstrich die Sonne total verfinstert erblickt, während alle anderen Erdorte, an denen die Finsternis überhaupt sichtbar ist, nur eine partielle wahrnehmen, deren Größe man früher wie bei den Mondfinsternissen nach Zollen angab, von denen aber jetzt zwölf auf den Durchmesser der Sonnenscheibe gehen, während man nun die Größe der Verfinsterung in Teilen des Sonnendurchmessers anzugeben pflegt.

Fig. 38.



Für die Erde im allgemeinen sind Sonnenfinsternisse häufiger als Mondfinsternisse, indem während eines Saros, d. h. während einer Periode von 6585 Tagen (18 Jahren und 11 Tagen) 42 Sonnen- und nur 29 Mondfinsternisse eintreten. Dies rührt daher, daß die Grenzen der Mondbreite, innerhalb deren Sonnenfinsternisse eintreten, weiter sind als für Mondfinsternisse. Denn es können Sonnenfinsternisse sich ereignen, so lange die Entfernung des Mondes von einem seiner Knoten 18° nicht übertrifft, während diese Grenze für die Mondfinsternisse bloß 12° beträgt (§ 100). Für einen bestimmten Ort der Erde aber z. B. für Berlin oder Wien sind die daselbst sichtbaren Sonnenfinsternisse beinahe dreimal seltener als die Mondfinsternisse, so daß jeder Ort im Durchschnitte nur alle zwei Jahre eine partielle Sonnenfinsternis zu erwarten hat. Eine totale oder ringförmige Finsternis hingegen sieht wegen der oben hervorgehobenen, stets ungemein geringen Breite der Zone der Totalität oder Ringförmigkeit ein bestimmter Erdort im Mittel nur einmal in 200 Jahren.

In den nächsten 16 Jahren kommen noch 12 totale Sonnenfinsternisse vor, von denen aber bei zweien (21. September 1903 und 5. Mai 1910) die Zone der Totalität bloß das antarktische Gebiet durchzieht. Die anderen 10 sind die nachstehenden, bei denen die angegebene Dauer der Totalität die Maximaldauer ist, die sie an jenen Orten erreicht, wo die totale Verfinsterung zur Zeit des Mittags eintritt.

			Dauer
1894	29. September,	hauptsächlich sichtbar in Ostafrika, Madagaskar	$1{\cdot}9^m$.
1896	9. August,	= = = Skandinavien, Sibirien	$2{\cdot}6^m$.
1898	22. Januar,	= = = Ostafrika, Indien, China	$2{\cdot}1^m$.
1900	28. Mai,	= = = Centralamerika, Spanien	$2{\cdot}4^m$.
1901	18. Mai,	= = = Madagaskar, Sunda-Inseln	$6{\cdot}7^m$.
1904	9. September,	= = = Stillen Ocean, Chile	$8{\cdot}2^m$.
1905	30. August,	= = = Nordamerika, Spanien	$4{\cdot}0^m$.
1907	14. Januar,	= = = Rußland, China, Sibirien	$2{\cdot}6^m$.
1908	3. Januar,	= = = bloß Stillen Ocean	$4{\cdot}5^m$.
1909	17. Juni,	= = = China, Sibirien, Grönland	$0{\cdot}5^m$.

In Europa haben wir somit in diesem Jahrhunderte nur noch einmal (1896) das schöne Phänomen einer totalen Verfinsterung der Sonne zu erwarten, wenn man nicht die in Spanien sichtbare Sonnenfinsternis vom 28. Mai 1900 noch jener Epoche zurechnen will.

Außerdem ereignen sich in dem oben genannten Zeitraum noch 12 ringförmige Finsternisse, von denen aber bei keiner die ringförmige Phase in Europa sichtbar sein wird. Endlich kommen während dieser Zeit noch zwei jener seltenen und interessanten Finsternisse vor, die als ringförmige beginnen und enden, und dort, wo sie des Mittags eintreten, zu totalen werden. Es sind die Finsternisse vom 6. April 1899, deren Zone der Centralität Indien, Thibet, China und Kamtschadka durchschneidet, und die vom 23. Dezember 1908, deren Centralitätszone Südamerika (Chile, Argentinische Republik, Uruguay) durchzieht.

§ 103. (Wahrnehmungen bei Sonnenfinsternissen.) Bei Sonnenfinsternissen bemerkt man, so lange auch nur ein kleiner Teil der Sonne unbedeckt ist, keine auffallende Verdunkelung auf der Erde. In dem Augenblicke aber, wo der letzte lichte Punkt der Sonne verschwindet, zeigt sich Firmament und Landschaft in einer höchst merkwürdigen Beleuchtung. Der Himmel nimmt eine eigentümliche schwärzliche Bläue an, am Horizonte erscheint ein orangefarbener Saum, von den außer dem Mondschatten liegenden Teilen der Atmosphäre herrührend; dies verbunden mit dem düsteren Zwielichte, das auf der ganzen Gegend lagert, verfehlen nie, einen ergreifenden Eindruck auf den Beschauer zu machen.*) Die plötzlich

*) In Ostindien ist der Glaube noch heutzutage sehr verbreitet, daß bei einer Mondfinsternis ein böser Geist seine rabenschwarzen Fittige über den Mond ausbreite, um ihn vom Himmel herabzuziehen, daher die Indier den Flüssen zueilen und sich bis an den Kopf ins

mitten in den Tag hereingeworfene Nacht erniedrigt die Temperatur um viele Grade, es fällt Thau, und Wolken bilden sich; die größeren Gestirne entzünden sich mit einem Male beinahe zu vollem Glanze; die getäuschten Tiere verstummen und suchen ihre Zufluchtsstätten, viele Pflanzen schließen ihre Blätter und Blüten. Da tritt nach wenigen Minuten ebenso zauberhaft mit dem ersten Funken der Sonne der alles erfreuende Tag wieder ein und belebt von neuem die Reize der eben scheinbar erstarrten Natur. Die dabei an der Sonne sich zeigenden, gleich interessanten Phänomene werden wir an einem anderen Orte (2. Abt.) besprechen. Hier sei nur noch einer Erscheinung gedacht, die sich wenige Minuten hindurch vor und nach dem völligen Verschwinden der Sonne auf der Erde zeigt, nämlich fliegende wellenförmige, 10 bis 12 cm breite, durch lichte Zwischenräume von einander getrennte Schattenstreifen, die, wie Fearnley im Jahre 1851 zuerst hervorhob, senkrecht auf die Sehne der eben sichtbaren Sichel der Sonne stehen und sich etwa mit der Geschwindigkeit eines mäßigen Pferdelaufes über die Landschaft bewegen. Diesen regelmäßig gebildeten Schattenzügen, welche Begleiter jeder totalen Sonnenfinsternis zu sein scheinen, ist zweifelsohne die kurz vor der Totalität über die Landschaft hinwegziehende undulierende Bewegung und die stoßweise Ab- und Zunahme der Helligkeit zuzuschreiben, welche häufig erwähnt wird.

Wasser stecken, um sich dadurch vor den Angriffen des bösen Geistes zu schützen. Noch sinnreicher stellen sich die Bewohner der Westküste von Afrika vor, daß die Finsternisse von einer großen schwarzen Katze verursacht werden, die ihre Pfoten auf die Sonne oder den Mond legt. Die Talapoinen oder Mönche in Siam geben vor, daß die europäischen Astronomen nur deshalb die Zeit, die Dauer und Größe der Finsternisse so scharf vorhersagen können, weil sie den Appetit eines großen Drachen genau kennen, der zur Zeit einer Fisternis die Sonne oder den Mond verschlingen will. Die sonst so gebildeten Griechen glaubten lange Zeit, daß der Mond zur Zeit der Finsternisse von boshaften Magiern bezaubert werde, die ihn durch ihre Künste vom Himmel herabziehen und dann mit seinem Schaume die Kräuter vergiften und die Tiere töten. Wir mögen uns immerhin in Acht nehmen, über diese Völker zu laut zu lachen, da unsere eigenen Väter vor noch nicht gar langer Zeit es nicht viel besser machten. Manche unserer Leser haben vielleicht einige von den vielen Schriften gelesen, die zur Zeit der totalen Sonnenfinsternis des 12. Mai 1706 in allen Teilen Deutschlands erschienen sind. Diese Finsternis ist in der That eine der größten, die seit langer Zeit in Europa erschienen waren. Der Schatten des Mondes zog beinahe über unseren ganzen Weltteil hin, und diejenigen Gegenden, welche die Finsternis total sahen, hatten mitten am Tage eine stockfinstere Nacht von beinahe 5 m. Während dieser Zeit konnte man weder lesen noch arbeiten, und kaum erkannte man sich neben einander. Die Nachtvögel kamen aus ihren Klüften, und die Tiere des Feldes suchten ihre Lager auf. Man konnte neben der verfinsterten Sonne die Planeten Merkur, Venus, Jupiter und Saturn und selbst alle größeren Fixsterne deutlich sehen. Dafür war aber auch diese Finsternis der Gegenstand des Gesprächs selbst in den sogenannten aufgeklärten Zirkeln, und die Gelehrten auf unseren Universitäten lieferten tiefsinnige Betrachtungen über die giftigen Nebel, die bei dieser und überhaupt bei jeder Finsternis auf die Erde fallen, daher man die Brunnen sorgsam zudecken und das Vieh in die Ställe treiben soll, und was dergleichen Dinge mehr sein mochten. Ganz ähnliches ließe sich auch von den jüngsten in Mitteleuropa gesehenen totalen Sonnenfinsternissen aus den Jahren 1842 und 1851, ja selbst der von 1887 berichten, wenn es nicht die Artigkeit gegen unsere Zeitgenossen forderte, zu Exemplifikationen dieser Art entferntere Perioden zu wählen.

Sie wurden, so viel uns bekannt, zuerst von H. Goldschmidt im Jahre 1820 bemerkt, ohne bisher eine hinreichende Erklärung zu finden. Arago hält diese fliegenden Schatten in ihrem Ursprunge für verwandt mit dem Scintillieren der Sterne, und Fearnley stimmt ihm darin bei, während Faye sie in dem von ihm der Pariser Akademie erstatteten Kommissionsberichte über die bei der totalen Sonnenfinsternis vom 18. Juli 1860 zu Batna ausgeführten Arbeiten als Interferenzerscheinung deutet. Von besonderem Interesse ist indes der Umstand, daß sich nach Dufour ein ähnliches Phänomen in den Schweizer Alpen beim Aufgange der Sonne hinter hohen Bergen öfter zeigt.

Kapitel XI.

Atmosphäre der Erde.

§ 104. (Höhe und Dichtigkeit der Atmosphäre.) Unsere Erde ist bekanntlich ringsum von einem Luftmeer umgeben, auf dessen Grunde wir uns aufhalten. Diese Luft scheint sich nicht eben sehr hoch über die Oberfläche der Erde zu erstrecken, da wir auf den Gipfeln hoher Berge und in unsern Aërostaten schon in Höhen von etwa 8000 m (§ 5) eine so starke Verdünnung derselben bemerken, daß sie zum Aufenthalte für lebende Wesen bereits ungeeignet ist. Wir können diese Abnahme auch durch das Barometer beobachten, welches uns das Gewicht oder den Druck desjenigen Teiles der Luft angiebt, der über diesem Instrumente bis zur höchsten Grenze der Atmosphäre enthalten ist. Je höher das Barometer über der Oberfläche der Erde steht, desto kürzer ist die noch übrige Luftsäule, die sich über demselben befindet, desto geringer auch der Druck dieser Säule, desto niedriger daher der Stand des Queckfilbers in dem geschlossenen Teile der Glasröhre des Instruments, so daß man durch den Stand des Barometers den Druck der Luft in jeder Höhe über der Erde, also auch, wenn die spezifische Schwere der Luft bekannt ist, jede Höhe über der Erde messen kann.

Die Luft hat nämlich wie alle Körper eine bestimmte Schwere oder ein bestimmtes Gewicht, mit welchem sie auf die unter ihr liegenden Gegenstände einen Druck ausübt. An der Oberfläche des Meeres hält dieser Druck der Luft einer Queckfilbersäule des Barometers von 760 mm das Gleichgewicht, wenn das Thermometer 0° Celsius oder Réaumur zeigt, wodurch man also gleichsam das Maß dieses Druckes erhält. Unter diesem Drucke und bei dieser Temperatur der Luft verhält sich die spezifische Schwere der Luft zu der des Queckfilbers etwa wie 1 zu 10 500. Wenn daher die Atmosphäre durchaus dieselbe Dichte hätte, so würde ihre Höhe über der Erde 760 mal 10 500 mm oder sehr nahe 8 km, d. h. etwas mehr als eine deutsche Meile betragen. Dies ist jedoch keineswegs der Fall, sondern die Höhe der Atmosphäre wesentlich größer, da nach einem

bekannten physikalischen Gesetze die Dichte eines Gases dem auf ihr lastenden Drucke, also der Barometerhöhe direkt, und dem Volumen umgekehrt proportional ist. Nach diesem Gesetze müssen daher die unteren, der Erde näheren Schichten dichter sein als die oberen, deren Gewicht jene ersten zusammendrückt. Wäre nun die Temperatur der Luft durchaus dieselbe, so würde deren Dichte, also auch die Barometerhöhe, in einer geometrischen Progression abnehmen, wenn die Differenzen der Höhen über der Erde in einer arithmetischen Progression wachsen. Allein auch dies ist nicht der Fall der Natur, da es, wie wir wissen, auf hohen Bergen im allgemeinen weit kälter ist, als in den Ebenen, wodurch die Dichte der Luft in den oberen Gegenden der Atmosphäre wesentlich vermehrt wird, aber in einem Maße, das uns unbekannt ist, weil wir die Abnahme der Temperatur mit der Höhe nur in den allerunterſten Schichten der Atmosphäre kennen. Es hat zwar zur Untersuchung der Temperaturverhältnisse in größeren Höhen, als jene, in welche der Mensch vermöge seines Organismus sich zu erheben vermag, G. Hermite in jüngster Zeit wiederholt Luftballons mit selbstregistrierenden Apparaten aufsteigen lassen, deren einer am 21. März 1893 eine Höhe von 16 000 m erreichte: allein selbst dies ist nur noch ein geringfügiger Bruchteil der Höhe der ganzen Atmosphäre. Wir können deshalb auch die Grenze unseres Luftkreises nach dem oben angezogenen Gay Lussac-Mariott'schen Gesetze nicht berechnen, sondern müssen versuchen, sie auf indirekte Weise zu ermitteln. Dazu scheint uns zunächst die Dämmerung ein gutes Mittel zu gewähren. Sie rührt, wie wir weiter unten (§ 110) sehen werden, davon her, daß nach dem Untergange der Sonne deren Strahlen die Atmosphäre noch eine Zeit lang erleuchten, und durch Reflexion in derselben noch in unser Auge gelangen.

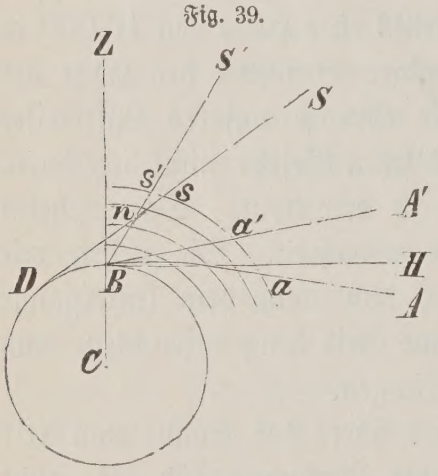
Die Dämmerung hört im Durchschnitt bei einer Tiefe der Sonne von 18^0 unter dem Horizonte auf, woraus durch eine leichte Rechnung für die Höhe der Atmosphäre sich rund 80 km ergiebt. Dies ist jedoch bei weitem noch nicht die Höhe unseres Luftkreises, sondern nur die Grenze, wo dessen Dichte bereits so gering ist, daß er nicht mehr Sonnenlicht genug reflektieren kann, um noch merkbare Lichtempfindungen in unserem Auge hervorzubringen. Das Aufleuchten der Sternschnuppen in Entfernungen von 150 und mehr Kilometern über der Erdoberfläche (2. Abt. Kap. XIV), das Auftreten von leuchtenden und irisierenden Wolken, auf welche man erst vor wenigen Jahren aufmerksam wurde in ähnlichen Höhen, und das Emporschießen von Nordlichtstrahlen in noch weit bedeutendere zeigt, daß wir die Höhe unseres Luftkreises nicht unter 200 bis 250 km ansetzen dürfen.

§ 105. (Refraktion.) Wie alle durchsichtigen Körper hat auch die Luft die Eigenschaft, daß sie die in sie fallenden Lichtstrahlen bricht, d. h. ihnen eine andere Richtung giebt. Die Folge davon ist, daß wir die Sonne und alle Himmelskörper überhaupt an einem anderen Orte sehen als dem, welchen sie in der That einnehmen.

Um den Betrag der Ablenkung berechnen zu können, den die Lichtstrahlen beim Durchgange durch unsere Atmosphäre erleiden, wollen wir, der Lehre von dem Gleichgewichte der Flüssigkeiten entsprechend, annehmen, daß dieselbe im Zustande der Ruhe aus einer Reihe der Erdoberfläche parallelen sphärischen Schichten bestehe, deren jede in allen Punkten gleich dicht ist, während die Dichte der verschiedenen Schichten selbst mit ihrer Entfernung von der Erde abnimmt.

Dies vorausgesetzt sei C (Fig. 39) der Mittelpunkt der Erde, B ein Beobachter auf der Oberfläche derselben und S ein Gestirn, so wird der Lichtstrahl Ss, wenn er der ersten der koncentrischen Luftschichten in s begegnet, von derselben so gebrochen, daß er der Linie Cs oder dem Einfallslote näher kommt. Da ferner die Beschaffenheit der Schichten in allen Richtungen um den Punkt s durchaus dieselbe ist, so wird der Strahl durch die Brechung nur zum Zenithe hin, aber nicht seitwärts gebracht, so daß er in derselben Vertikalebene CSs bleibt, durch diese Brechung also nur die Zenithdistanz, aber nicht das Azimuth des Sterns (Einl., § 8) verändert wird. Die Veränderung ist allerdings nur sehr gering, weil die Dichte sowohl als die Dicke dieser ersten Schicht äußerst klein ist. Aber die zweite Schicht bewirkt eine ähnliche Brechung des Lichtstrahls, und da dasselbe auch von allen folgenden Schichten gilt, so wird die Wirkung aller dieser Brechungen sein, daß der anfänglich geradlinige Strahl Ss innerhalb der Atmosphäre, oder von dem Punkte s bis zu dem Auge des Beobachters in B, eine gegen die Erde hohle krumme Linie sB beschreibt. Nun sieht man aber alle Gegenstände in derjenigen Richtung, welche der von ihnen ausgehende Lichtstrahl in dem Augenblicke hat, in welchem er das Auge des Beobachters trifft, woraus folgt, daß das Auge den Stern S in der Richtung der Tangente des letzten Punktes der krummen Linie erblickt, die sein Licht in der Atmosphäre beschreibt, oder in Richtung der geraden Linie Bs'S', d. h. näher bei dem Zenithe Z, als es den Stern ohne Brechung gesehen haben würde. Verlängert man ebenso die Linie Ss, d. h. die Richtung, in welcher der Lichtstrahl ohne Vorhandensein der Atmosphäre zu uns gekommen wäre, auf der andern Seite von s, bis sie die letzte Tangente in n und die Erde in D trifft, so ist der Winkel BnD die eigentliche Ablenkung des Strahls, die durch die Brechung hervorgebracht und Refraktion oder die Strahlenbrechung des Sterns S für die scheinbare Zenithdistanz ZBS', in welcher ihn der Beobachter in B sieht, genannt wird.

Fig. 39.



Es ist nun Sache der Physik und der Geometrie, die Größe dieses Winkels BnD oder der Refraktion der Gestirne für jede scheinbare Zenithdistanz ZBS' zu bestimmen. Man sieht von selbst, daß diese Bestimmung durch das ganze

Gebiet der praktischen Astronomie von der größten Wichtigkeit ist, da sie alle unsere Beobachtungen ohne Ausnahme affiziert, und wir von keinem Himmelskörper den wahren Ort angeben können, den er im Weltraume einnimmt, wenn wir uns nicht zuerst von dieser optischen Täuschung befreit haben.

Unglücklicherweise ist aber diese Aufgabe sehr schwer mit vollkommener Schärfe zu lösen. Wir haben bereits oben (§ 104) gesagt, daß das Gesetz, nach welchem sich die Wärme, also auch die Dichte der Luft, von welcher in erster Linie die Größe der Refraktion abhängt, mit der Höhe ändert, uns noch so gut wie gänzlich unbekannt ist, da unsere größten Berge und selbst unsere höchsten Luftfahrten noch viel zu niedrig sind, um von ihnen eine sichere Belehrung über die Konstitution der höchsten Luftschichten hoffen zu können.*) Dazu kommt noch, daß die Temperatur und Dichte der Luft und damit ihre brechende Kraft und der Betrag der Refraktion selbst an ein und demselben Orte beständig Schwankungen unterliegen. Doch haben, dieser Hindernisse ungeachtet, die Astronomen die Theorie derselben so weit zu vervollkommnen vermocht, daß sie nun, selbst für unsere genauesten Beobachtungen, wohl nur sehr wenig mehr zu wünschen übrig läßt, und Tafeln entworfen, aus welchen man die Refraktion finden kann, die, zu der beobachteten Zenithdistanz addiert, die wahre oder diejenige giebt, welche man beobachten würde, wenn unsere Erde von keiner Atmosphäre umgeben wäre, oder wenn wir alle Gestirne an demjenigen Orte des Himmels sehen könnten, den sie in der That einnehmen. Eine solche Tafel teilen wir hier im Auszuge mit.

Beobachtete Zenithdistanz	Refraktion	Beobachtete Zenithdistanz	Refraktion
0°	0′ 0″	60°	1′ 40″
5	5	65	2 4
10	10	70	38
15	16	75	3 33
20	21	80	5 16
25	27	85	9 47
30	33	86	11 39
35	41	87	14 15
40	49	88	18 9
45	58	89	24 25
50	1 9	90	34 54
55	1 23		

*) Der höchste bisher bekannte Berg der Erde (indisch Gaurisánkar, thibetanisch Tschingopamari, von Oberst Waugh Mount Everest genannt) im Himalaya ist, wie wir schon oben (§ 5) zu bemerken Gelegenheit fanden, 8850 m hoch, und die größte Höhe, die Luftballons bisher erreichten, beträgt etwa 16 000 m. Auf einem Erdglobus von 30 cm im Durchmesser würde letztere Höhe nur $^1/_3$ mm geben. Noch geringer sind, von bloßen Bohrlöchern abgesehen, die Tiefen unter der Oberfläche der Erde, zu denen wir bisher gekommen sind und von denen die größte in Europa (Mondorf) nur 7000 m beträgt. Etwas größer sind allerdings die größten bisher bekannten Meerestiefen, die im Nordpacifischen und Südpacifischen Ocean bis auf 8340 m resp. 8520 m ansteigen: trotzdem aber kennen wir von dem, was über oder unter der Oberfläche der Erde ist, kaum so viel, als auf jenem Globus die Dicke seines gewöhnlichen Überzuges von Papier ausmacht.

Es wird genügen, noch folgende Eigenschaften der Refraktion zu bemerken:

1. Für Sterne im Zenith des Beobachters verschwindet die Refraktion.
2. Je größer die Zenithdistanz des Sterns ist, desto größer ist auch die Refraktion, bis sie endlich für Sterne, die im Horizonte erscheinen, am größten ist und dann etwa $0^0\ 35'$ beträgt.
3. Von der Entfernung der Gestirne ist die Refraktion ganz unabhängig, weil die Himmelskörper alle weit außer unserer Atmosphäre liegen und die Refraktion nur durch die letztere bedingt wird.
4. Die Refraktion ändert sich mit dem Zustande der Atmosphäre, besonders wenn die Dichte oder die Temperatur derselben sich ändert, daher man noch zwei Korrektionen an sie anbringt, deren erste von dem Barometer und deren zweite von dem Thermometer abhängt, weshalb obige Tafel nur für einen gewissen Zustand der Atmosphäre (Bar. 752 mm, Thermometer $+ 10^0$ Celsius) streng richtig ist.

§ 106. (Horizontalrefraktion.) Wenn ein Gegenstand, z. B. die Sonne A (Fig. 39), noch unter dem Horizonte BH des Beobachters in B ist und also für denselben unsichtbar sein sollte, so wird der von ihr ausgehende Lichtstrahl Aa, sobald er die Atmosphäre in a trifft, dieselbe in einer krummen Linie aB durchlaufen, und der Beobachter die Sonne in der Richtung der letzten Tangente dieser Kurve, d. h. in der Höhe HBA' über seinem Horizonte erblicken. Dies ist die Ursache, warum für alle Orte der Erde die Sonne früher auf- und später unterzugehen scheint, als sie in der That durch den Horizont dieser Orte geht. Durch die Refraktion werden also die Tage verlängert. Diese Verlängerung ist besonders für die Gegenden innerhalb der Polarkreise sehr wohlthätig, wo die Sonne noch mehrere Tage, ja Wochen über dem Horizonte gesehen wird, wenn sie gleich in der That unter ihm steht und die lange Nacht dieser kalten Zonen bereits eingetreten sein sollte. So sollen holländische Seefahrer im J. 1596 auf Nowaja Semlja unter einer geographischen Breite von 76^0 die Sonne 17 Tage früher haben aufgehen sehen, als die Rechnung ergab. Schon Kepler hob hervor, daß die Sonne da noch 5^0 unter dem Horizonte stand, was etwa neunfache gewöhnliche Refraktion bedingen würde und seine Richtigkeit vorausgesetzt, nur aus sehr tiefer Temperatur zu erklären sein dürfte.

Die starke Refraktion am Horizonte ist ferner die Ursache der auffallenden Gestalt der Sonne und des Mondes bei dem Auf- und Untergange dieser Himmelskörper, wo sie an ihrem oberen und noch mehr an ihrem unteren Rande stark abgeplattet erscheinen. Wenn die Sonne eben ganz aufgegangen ist und ihr unterer Rand noch im Horizonte steht, so wird derselbe durch die Horizontalrefraktion um 35' erhöht (§ 105). Der obere Rand aber, der bereits eine Höhe von 32' über dem Horizonte hat, leidet durch die Refraktion nur noch eine Erhöhung von 29', so daß daher der höchste und tiefste Punkt der Sonne einander um volle 6' näher gebracht werden, während der östliche und

westliche Punkt des Sonnenrandes dnrch die Refraktion gleichmäßig erhöht und daher diese Punkte in ihrer Entfernung von einander nicht verändert werden, was zuerst der arabische Astronom Alhazen um das Jahr 1100 richtig erklärt zu haben scheint.

Die Horizontalrefraktion ist auch der Grund, warum man bei solchen Mondfinsternissen, die am Horizonte statthaben, den Mond sowohl als auch die Sonne über dem Horizonte sieht, obschon diese beiden Himmelskörper zu jener Zeit um volle 180° von einander entfernt sein müssen, eine Erscheinung, die der Mathematiker Kleomedes, von dessen Leben man nur weiß, das es in das vierte oder fünfte Jahrhundert n. Chr. fiel, schon durch Refraktion erklärte.

§ 107. (Funkeln oder Scintillieren der Sterne.) Der Brechung und Zerstreuung des Lichtes in unserer Atmosphäre verdankt auch eine Erscheinung ihre Entstehung, die jedermann in dem sogenannten Funkeln der Sterne kennt. Sie besteht in einem periodisch wiederkehrenden Farbenwechsel der Sterne, der zugleich mit plötzlicher Lichtab- und Zunahme verbunden ist, und besonders stark in der Nähe des Horizontes auftritt. Arago versuchte diese Erscheinung aus der Interferenz (2. Abt., § 5) zu erklären, durch welche von einem leuchtenden Punkte ausgehende Lichtstrahlen einander affizieren, indem sie die optisch so sehr verschiedenen Schichten der Atmosphäre durchlaufen. Montigny und Foucault hingegen führen das Funkeln auf eine einfache Dispersionserscheinung in der Atmosphäre zurück, welche durch die Luftströmungen vermehrt und intermittierend gemacht wird. Für diese Erklärung spricht, nach Liandrier, auch das bekannte Phänomen, daß kleine weiße Kiesel auf dem Grunde eines rasch fließenden Baches stark scintillieren, wenn sie von der Sonne beleuchtet werden, und der bereits von Kämtz hervorgehobene Umstand, daß ein heftiges Funkeln der Sterne sehr häufig ein Vorbote nahenden stürmischen Wetters ist. Respighi endlich erklärt diese Erscheinung durch ungleiche Brechung der Lichtstrahlen in den vermöge der täglichen Bewegung der Erde vorbeigeführten Luftschichten.

Diesen letzten Erklärungsversuch hat Professor K. Exner im Jahre 1882 durch eine längere, an der Wiener Sternwarte ausgeführte Beobachtungsreihe als den richtigen erwiesen und alle zum Teil recht komplizierten Einzelheiten des Phänomens erklärt. Übrigens will Montigny gefunden haben, daß Sterne, deren Spektra zahlreiche dunkle Linien zeigen, weniger als andere, und Dufour, daß rote Sterne am wenigsten scintillieren, wonach also das Funkeln auch von der physischen Beschaffenheit der Sterne abhinge. Bemerkenswert ist auch noch, daß die Planeten merklich schwächer funkeln als die Fixsterne, so daß sie dadurch sogar von ihnen unterschieden werden können.

§ 108. (Terrestrische Refraktion.) Aus dem Vorhergehenden wissen wir, daß der Lichtstrahl, wenn er von irgend einem Punkte zu einem anderen durch die Luft geht und dabei die konzentrischen Schichten der Atmosphäre in einer schiefen Richtung durchschneidet, von diesen Schichten gebrochen wird und daher zwischen

beiden Punkten eine krumme Linie beschreibt. Da dasselbe nicht bloß bei den Gegenständen des Himmels, die außer der Atmosphäre sich befinden, sondern auch bei allen Körpern, die in dieser Atmosphäre selbst liegen, der Fall ist, so sehen wir auch alle irdischen Gegenstände, die Spitzen der Berge, Türme u. s. f. nicht an der Stelle, an welcher sie unserem Auge in der That erscheinen würden, wenn die Erde nicht von Luft umgeben wäre. Diesen Unterschied nennt man die terrestrische Strahlenbrechung oder Refraktion. Sie ist in den meisten Fällen, besonders wenn der Gegenstand nahe bei dem Beobachter steht, viel geringer als die astronomische Strahlenbrechung, da bei der terrestrischen Refraktion der Lichtstrahl von dem terrestrischen Objekte nur durch einen, meistens sehr geringen Teil der Atmosphäre geht, während er bei der astronomischen den ganzen Weg von einer Grenze der Atmosphäre bis zur anderen zurücklegt. Für nicht gar zu große Distanzen nimmt man den Beobachtungen gemäß an, daß die terrestrische Refraktion, in Sekunden ausgedrückt, gleich ist der Zahl 0·0025 multipliziert in die Anzahl Meter, die zwischen dem Beobachter und dem terrestrischen Objekte enthalten sind. So ist für eine Distanz des Objektes von 2000 m die terrestrische Refraktion 5".

§ 109. (Reflexion der Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre.) Wenn man einen Sonnenstrahl durch die enge Öffnung eines Fensterladens in ein verschlossenes finsteres Zimmer leitet, so sieht man denselben nicht bloß als einen lichten, goldenen Faden durch die ganze Länge des Zimmers gehen, sondern man bemerkt auch die um ihn liegenden Gegenstände in einem matten Lichte schimmern, so daß durch diesen einen Strahl das ganze Zimmer schwach beleuchtet erscheint, weil einzelne Teile des Lichtstrahls durch die Luft, durch die er geht, zurückgeworfen und auf die benachbarten Gegenstände gebracht werden, von welchen sie wieder in unser Auge kommen. Dieselbe Erscheinung hat noch in einem viel höheren Grade für alle Teile der Erde statt, die eben von der über ihrem Horizonte stehenden Sonne beschienen werden, und gilt natürlich auch für die Atmosphäre und die in ihr enthaltenen Wolken und Dünste, welche das von der Sonne erhaltene Licht, wie zahllose Spiegel nach allen Seiten zerstreuen, so daß gleichsam von jedem sichtbaren Punkte auf und über der Erde zu jedem andern die Strahlen des Lichtes sich nach allen Richtungen durchkreuzen. Wäre die Erde von keiner Atmosphäre umgeben, oder hätten die Elemente der Atmosphäre und der übrigen Körper nicht die Eigenschaft, das Licht nach allen Seiten zurückzuwerfen, so würden wir nur diejenigen Gegenstände sehen, welche direkt von der Sonne beschienen werden, und alle von den Sonnenstrahlen nicht unmittelbar getroffenen Körper würden in dem finstern Schatten der Nacht zu liegen scheinen. Jede kleine Wolke, die zwischen der Sonne und uns vorüberzieht, würde uns sofort in die tiefste Dunkelheit der Mitternacht versetzen; die Fixsterne würden, ganz nahe an der Sonne, auch am Tage sichtbar sein; der Himmel selbst würde an allen sternfreien Stellen schwarz und finster erscheinen, und selbst unsere Wohnungen

wären, sobald ihr Inneres nicht unmittelbar von dem Sonnenlichte getroffen wird, in nächtliche Finsternis eingehüllt; wir würden endlich auch unmittelbar nach der tiefsten Nacht die hellleuchtende Sonne und ebenso schnell nach dem Tage wieder die schwärzeste Nacht über uns einbrechen sehen — Zustände, die auf uns nicht anders als sehr nachteilig einwirken könnten.

§ 110. (Dämmerung.) Unsere Atmosphäre bringt uns deshalb in Bezug auf die Beleuchtung der Erde in doppelter Richtung erhebliche Vorteile. Durch die Brechung der Lichtstrahlen in derselben wird zunächst, wie wir oben (§ 106) gesehen haben, bewirkt, daß die Sonne noch einige Zeit über unserem Horizonte erscheint, wenn sie in der That schon unter demselben ist, wodurch die Dauer des Tages, vorzüglich in den höheren Breiten, bedeutend verlängert wird. Aber selbst dann, wenn die Sonne schon so tief steht, daß die Refraktion sie nicht mehr bis zu dem Horizonte erheben kann, selbst dann verdanken wir derselben Atmosphäre noch wenigstens einen Teil des Sonnenlichtes, das die erste und letzte Grenze unserer Nächte erleuchtet und unter der Benennung der Dämmerung allgemein bekannt ist. Diese Beleuchtung unserer Erde rührt von dem reflektierten Lichte der Sonne, d. h. von denjenigen Sonnenstrahlen her, welche die höheren Teile der Atmosphäre, die Dünste und Wolken, noch nach dem Untergange oder schon vor dem Aufgange der Sonne bescheinen, und von diesen, wie von einem Spiegel auf die Erde geworfen, den Anfang und das Ende unserer Nächte erhellen. Auch diese Erscheinung soll Alhazen zuerst richtig gedeutet haben.

Vermöge der Dämmerung sieht daher ein Ort der Erde, für den die Sonne eben untergegangen ist, noch einen großen Teil des westlichen Himmels von den Sonnenstrahlen erleuchtet, da diese Strahlen nach allen Seiten zurückgeworfen werden. Je mehr sich aber jener Ort, durch die tägliche Bewegung der Erde, nach Osten dreht, oder je weiter er sich von der Sonne entfernt, ein desto größerer Teil jener beleuchteten Stelle des westlichen Himmels verschwindet für ihn, weil derselbe von der undurchsichtigen Erde in seinen unteren Teilen immer mehr und mehr bedeckt wird, bis endlich auch der höchste und schwächste Teil dieser Stelle sich dem Auge entzieht und jetzt erst die vollkommene Nacht einbricht.

Man nimmt gewöhnlich an, daß die Dämmerung anfängt und aufhört, wenn die Sonne 18^0 unter dem Horizonte steht. Für die Mitte Deutschlands hat sie ihre kürzeste Dauer von nahe 2^h im Anfange des März und gegen die Mitte des Oktober. Von der Mitte des Mai aber bis zu Ende des Juli dauert für uns diese Dämmerung beinahe die ganze Nacht durch, weil die Sonne während dieser Zeit selbst um Mitternacht kaum die Tiefe von 18^0 unter dem Horizonte erreicht. In höheren Breiten ist die Dauer der Dämmerung viel größer. Unter den Polen selbst werden der halbjährigen Nacht, im Anfange sowohl als am Ende derselben, nahe 50 Tage durch die Dämmerung entzogen, wodurch die eigentlich halbjährige Nacht auf $3^1/_2$ Monate herabgebracht wird. Überhaupt

aber kann man annehmen, daß wegen dieses Dämmerungsbogens von 18° nicht mehr bloß 180° von dem Umfange der Erde, sondern noch 36° mehr, also 216° dieses Umfanges von dem direkten und reflektierten Sonnenlichte beleuchtet werden.

Von dieser astronomischen Dämmerung ist die sogenannte bürgerliche verschieden, die dann anfängt und endet, wenn man in mäßig frei liegenden Wohnungen das Licht abends anzuzünden oder morgens auszulöschen pflegt. Man nimmt, ohne viel Genauigkeit, für diese Zeit die Tiefe der Sonne unter dem Horizonte zu 7° 45′ an. Die bürgerliche Dämmerung ist also viel kürzer als die astronomische, und sie dauert für das mittlere Deutschland im März und Oktober, wo sie am kürzesten ist, nur 40^m, im höchsten Sommer aber oder in der Mitte des Juni nahe eine Stunde.

Übrigens ist unsere Kenntnis der Dämmerung noch sehr unvollkommen und bedarf, wie J. F. J. Schmidt in Athen gezeigt hat, noch mannigfaltiger Vervollständigungen.

§ 111. (Absorption des Lichts in der Atmosphäre.) Die Gestirne erscheinen uns, wenn sie nahe am Horizonte stehen, in ihrem Lichte sehr geschwächt, so daß wir z. B. die Sonne bei ihrem Auf- und Untergange ohne Schmerzen betrachten können, während sie um Mittag unsere Augen blendet. Die Ursache dieser wahrscheinlich wieder von Alhazen zuerst erklärten Erscheinung liegt darin, daß die Sonne, wenn sie in der Nähe des Horizontes, in A (Fig. 39) ist, ihre Strahlen durch den Weg aB in die Atmosphäre schickt, während dieselben bei einer größeren Höhe der Sonne, z. B. in S, durch den Weg sB gehen. Jener Weg ist aber bedeutend länger als dieser, und er geht überdies durch einen größeren Raum der unteren, der Erde näheren und daher dichteren Luftschichten, wodurch das Licht der Sonne sehr geschwächt wird. Nach Seidel hat man für die Stärke des Lichtes der Himmelskörper, wenn man sie außer unserer Atmosphäre gleich der Einheit setzt, für die Zenithdistanz von

0°	20°	40°	60°	70°	80°	85°	86°	87°	88°	89°	90°
0·81	0·80	0·78	0·66	0·53	0·33	0·17	0·14	0·09	0·05	0·02	0·014,

so daß die Lichtstärke der Sonne am Horizonte 65mal schwächer ist, als im Zenithe.

Der Lichtabsorption in unserer Atmosphäre ist es auch zuzuschreiben, daß auf hohen Bergen, wo der dichteste Teil des Luftkreises schon unter dem Beschauer liegt, die Sterne heller zu leuchten und zahlreicher zu sein scheinen, als in der Ebene, was wegen der ungemein raschen Zunahme der Zahl der schwächeren Sterne besonders auffallend für das bewaffnete Auge hervortritt. Eine ähnliche Bewandtnis hat es auch mit der Erscheinung, daß, je höher man über das Meeresniveau emporsteigt, die Bläue des Himmels einen immer tieferen Ton annimmt, und daß namentlich auch bei photographischen Aufnahmen in großen Höhen der Himmelsgrund fast völlig schwarz erscheint. Dies rührt daher, daß unsere Atmosphäre vorzüglich die Strahlen vom violetten Ende des Spektrums (2. Abt., § 7)

absorbiert, so daß diese nach dem Durchgange durch die dichteren Teile unseres Dunstkreises den roten gegenüber sehr geschwächt erscheinen und erst in größeren Höhen mehr und mehr zur Geltung gelangen. Besonders deutlich zeigt sich dies beim Auf- und Untergange von Sonne und Mond, wo uns diese Gestirne eben wegen des Fehlens der blauen und violetten Lichtsorten rot erscheinen. Ja, es glaubt Langley aus seinen Untersuchungen auf dem Mount Whitney (Colorado) in einer Seehöhe von mehr als 4500 m folgern zu dürfen, daß, wenn die Erde von keiner Atmosphäre eingehüllt wäre, wir also ohne jegliche Lichtabsorption die Sonne betrachten könnten, im Lichte derselben die blauen Strahlen eine solche Intensität hätten, daß uns dieses Gestirn nicht als weiß, sondern als sehr merkbar bläulich gefärbt erscheinen würde.

§ 112. (Optische Täuschungen.) Es wird schon von Aristoteles und Plinius erwähnt, daß man die Sonne und den Mond bei ihrem Auf- und Untergange viel größer sieht, als wenn sie hoch am Himmel stehen. Dasselbe bemerken wir auch an den Sternbildern, und unter diesen besonders auffällig am großen Bär. Dieses alltägliche Phänomen, für welches wir eigentümlicher Weise noch keine genügende Erklärung besitzen, mag durch das Zusammentreffen mehrerer Umstände herbeigeführt werden. In dieser Beziehung ist zunächst die eben besprochene Absorption der Lichtstrahlen zu nennen, welche bewirkt, daß Sonne und Mond zur Zeit ihres Auf- und Unterganges schwächer leuchten, als in größeren Höhen. Irdische Objekte, die matter beleuchtet sind, sind in der Regel aber die entfernteren: diese Erfahrung übertragen wir nun auch auf die Gestirne; sie scheinen uns deshalb im Horizonte entfernter und infolge dessen größer zu sein, als in bedeutenden Höhen. Den Hauptanteil an dieser Erscheinung hat aber wahrscheinlich die von Stroobant durch Versuche nachgewiesene Thatsache, daß wir überhaupt alle Gegenstände, wenn sie in eine nahe horizontale Richtung gebracht werden, größer schätzen.

Im Zusammenhange damit steht wohl auch die scheinbare Gestalt des Himmelsgewölbes, auf welche zuerst Malebranche und L. Euler die Aufmerksamkeit lenkten. Kurz nachher unternahm Rob. Smith eine genauere Bestimmung dieser Gestalt, die uns nicht als eine Halbkugel, sondern als ein in seinen höheren Teilen sehr gedrücktes Gewölbe erscheint. Wenn wir z. B. den Mond genau in der Mitte zwischen Horizont und Zenith, also in der Höhe von 45° zu sehen glauben, und wenn wir dann diese Höhe mit irgend einem Instrumente wirklich messen, so finden wir, wie Robert Smith zeigte, daß sie nur 23°, also nur die Hälfte von derjenigen ist, die wir zuvor bloß nach dem Augenmaße geschätzt haben. Daraus folgt, wie man durch Rechnung zeigen kann, daß uns die Höhe des Himmelsgewölbes nur 0·3 der Weite desselben zu betragen scheint. Ist also ADBE (Fig. 14, S. 96) die Erde, und stellt der mit ihr koncentrische Kreisbogen LL'H einen Teil des Himmelsgewölbes vor, dessen höchster Punkt H ist und dessen Basis von dem Horizonte AL des Be-

obachters in A gebildet wird, so wird diesem Beobachter die vertikale Entfernung AH nur 30 km zu betragen scheinen, wenn er die horizontale Distanz AL von ihm bis zu dem Himmel gleich 100 km schätzt. In den Jahren 1888 und 1889 hat Dr. E. Reimann die Form des Himmelsgewölbes neuerdings einer sehr sorgfältigen Untersuchung unterzogen, und für Beobachtungen am Tage das Resultat von Smith sehr nahe bestätigt gefunden, weiter aber festgestellt, daß des Nachts die Wölbung erhöhter zu sein scheint. Seinen Beobachtungen zufolge glaubt man nämlich ein Objekt bereits in einer Höhe von 45° zu erblicken, wenn dessen wahre Höhe beträgt:

bei Tage	22·4°
des Nachts bei Mondschein . .	26·6
des Nachts ohne Mondschein .	30·0

Beim Schätzen der relativen Lichtstärke der Gestirne schätzen wir gewöhnlich jenen, dessen Licht der violetten Seite des Spektrums (2. Abt., § 7) näher liegt, heller als jenen, dessen Farbe mehr ins rote spielt, schätzen überhaupt in der Regel helle Gestirne zu Gunsten des helleren unrichtig; und besonders dann, wenn noch das ersterwähnte Moment hinzutritt. So erscheint uns Jupiter, wenn er nahe bei Mars steht, leicht 4mal so hell als der letztere, wenn er auch in der That nur doppelt so groß erscheinen sollte. Dies rührt neben anderem wohl hauptsächlich daher, daß stark leuchtende Gegenstände auf unserer Retina einen Zerstreuungskreis der Lichtstrahlen hervorrufen, wodurch sie uns desto größer erscheinen, je heller sie glänzen. In guten Fernrohren fällt dieses falsche Licht weg, daher wir durch dieselben die Fixsterne unter viel kleinerem Durchmesser sehen, als mit freien Augen, worüber man die mit diesen optischen Täuschungen unbekannten Gäste auf den Sternwarten sich oft genug verwundern hört, da sie erwarteten, alle Gestirne durch das Fernrohr viel größer, als mit freien Augen zu sehen. Nach Jurin's Versuchen sieht ein sonst gesundes Auge den Durchmesser Jupiters nahe 7mal und den der Venus 12mal größer, als sie ohne diese Irradiation der Lichtstrahlen in unserem Auge erscheinen würden. Die Fixsterne der ersten Größe sehen wir mit freiem Auge unter einem Durchmesser von 3′ bis 4′, während er in fehlerfreien Teleskopen noch nicht eine einzige Sekunde beträgt. Und doch darf niemand, der nur mit einiger Aufmerksamkeit durch ein Teleskop gesehen hat, behaupten wollen, daß dadurch die Gegenstände überhaupt nicht größer und zugleich viel schärfer gesehen werden, da er z. B. einander nahe Sterne, die für das freie Auge nur einen Lichtpunkt geben, durch das Fernrohr doppelt und durch große Zwischenräume getrennt sieht und neben ihnen noch eine Menge anderer Sterne erblickt, die er früher gar nicht bemerken konnte.

Aus derselben Ursache scheint uns auch die beleuchtete Sichel des Mondes einer viel größeren Kugel anzugehören, als die von ihr eingeschlossene dunkle ist, die man bald nach dem Neumond noch zu sehen pflegt (2. Abt. Kap. XI)

sowie auch bei den Finsternissen der Sonne und des Mondes der noch übrige helle Teil immer viel größer erscheint, als er durch unmittelbare Messung gefunden wird.

Es scheint auch hier der Ort, einer Erscheinung zu erwähnen, die vor Jahren ab und zu von sich sprechen machte; wir meinen die sogenannten Sonnenflocken. Man bemerkt zuweilen durch Fernrohre in der Nähe der Sonne eine große Menge hell leuchtender und sich schnell in nahe gleicher Richtung bewegender Punkte, die im allgemeinen ganz das Aussehen von bei Tag gesehenen Sternen haben und so an besonders reichen Sternschnuppenfall denken ließen. Bei Gelegenheit einer Bedeckung der Venus durch den Mond am 16. Juli 1844 konnte K. v. Littrow das Phänomen in besonders reicher Entwickelung beobachten und sich überzeugen, daß dasselbe von Reflexen wolliger Pfanzensamen herrühre, die durch den eben herrschenden Wind in großenteils sehr bedeutender Entfernung vorübergeführt werden. Ganz ähnliche Erscheinungen könnten auch etwa durch Gespinste eines Insektes, wie sie namentlich im Spätherbste häufig durch die Luft ziehen, bewirkt werden.

Eine ähnliche Bewandtnis hat es auch mit den dunklen Körpern, die man, bereits mehrmals, besonders in Süditalien im Fernrohre vor der Sonnenscheibe in großer Menge vorüberziehen sah. C. H. F. Peters wies bei manchen dieser Fälle nach, daß es entfernte Züge von Wandervögeln waren. Nach Herschel bringen in Indien Heuschreckenschwärme zuweilen eine gleiche Erscheinung hervor.

Bei dieser Gelegenheit wollen wir auch noch eine merkwürdige Erscheinung, das sog. Sternschwanken, besprechen, welches zwar schon von A. v. Humboldt an den Abhängen des Pic von Teneriffa in Malpays, und später an demselben Orte von Prinz Adalbert von Preußen beobachtet, aber erst von dem Afrikareisenden E. Vogel und besonders genau von Schweizer in Moskau studiert wurde. Nach den Untersuchungen des letzteren sind die Lokaländerungen der Gestirne beim Sternschwanken sehr verschiedener Art. Sie scheinen entweder Kreise oder Ellipsen von kleineren oder größeren, bis auf mehrere Grade gehenden Durchmessern zu beschreiben, oder mehr fortschreitend, sich z. B. von links nach rechts, oder von oben nach unten eine Strecke weit bis zu einem Haltepunkte zu bewegen, da eine Zeit lang zu verweilen, und dann in retrograder Richtung dem Anfangspunkte wieder zuzueilen. Zuweilen bewegen sich die Sterne aber auch in ganz unregelmäßigen, sei es geschlängelten, oder gebrochenen geraden Linien.

Am deutlichsten und intensivsten tritt das Sternschwanken in der Nähe des Horizontes, und in dunkelen, mondlosen Nächten auf, und kann in solchen durch längeres anhaltendes Fixieren eines tiefstehenden Sternes in der Regel nach Belieben hervorgerufen werden, besonders dann, wenn das Auge bereits früher ermüdet und abgespannt war. Schweizer hält daher das ganze Phänomen bloß für eine physiologische, durch Überanstrengung des Auges hervorgerufene Erscheinung, und führt zur Begründung dieser Ansicht noch an, daß er dem

Sternschwanken ganz ähnliche Bewegungen wiederholt auch an terrestrischen Gegenständen, wie entfernten Straßenlaternen oder Lichtern wahrgenommen habe.

§ 113. (Zodiakallicht.) Mit dem Namen Zodiakal- oder Tierkreislicht bezeichnet man den mattleuchtenden, der Milchstraße ähnlichen Lichtschimmer, der beim Schlusse der Abenddämmerung am westlichen und kurz vor dem Einbrechen der Morgendämmerung am östlichen Himmel in Gestalt einer Pyramide sichtbar wird, die mit der Basis auf dem Horizonte ruht und sich nahezu längs der Ekliptik fortzieht.

Diese eben genannten Pyramiden sind aber nur der auffälligste und am leichtesten zu beobachtende Teil des Phänomens. Unter günstigen Umständen zeigt sich nämlich in der Ekliptik noch ein anderer Lichtschimmer von ähnlicher Gestalt, aber viel geringeren Dimensionen und viel blasserem Lichte, dessen hellste Partie dem Sonnenorte gerade gegenüberliegt. Ein sehr scharfes Auge bemerkt überdies zuweilen noch eine äußerst zarte Lichtbrücke, welche den letztgenannten, von Th. Brorsen entdeckten und mit dem Namen Gegenschein belegten Lichtschimmer mit dem Hauptscheine verbindet. Das Zodiakallicht bildet daher in seiner Gesamtheit eine große Lichtzone, welche sich über den ganzen Tierkreis ausdehnt und zwei Intensitätsmaxima besitzt, von denen das eine mit dem Orte der Sonne zusammenfällt und das andere, viel weniger ausgeprägte, demselben diametral gegenüberliegt, während die beiden Minima ungefähr 130° von der Sonne abstehen dürften.

Das Zodiakallicht im engeren Sinne des Wortes, welches des Abends im Westen und des Morgens im Osten schief am Horizonte aufsteigt, ist unter den Tropen das ganze Jahr hindurch fast gleich gut sichtbar. In unseren Breiten ist dies jedoch nicht der Fall, weil es vermöge seines Verlaufes längs der Ekliptik zu Zeiten so tief am Himmel zu liegen kommt, daß es sich in den Dünsten des Horizontes sehr leicht der Wahrnehmung entzieht. Dies tritt namentlich in den Sommermonaten ein, wo auch die lange Dämmerung seine Sichtbarkeit bedeutend erschwert. Am besten ist das Zodiakallicht in unseren Breiten am Abendhimmel im Februar und März sichtbar, wo es als eine nach links geneigte Lichtpyramide steil am Horizont emporsteigt, das Band der Fische, den Kopf des Walfisches und den Widder durchzieht und mit der äußersten Spitze ungefähr bis zu den Hyaden und Plejaden reicht. Am Morgenhimmel hingegen ist das Zodikallicht am besten im Oktober bemerkbar, wo es sich durch den Löwen und den Krebs bis in die Zwillinge erstreckt.

In neuerer Zeit wurde das Zodiakallicht mehrfach spektralanalytisch untersucht und dabei festgesetzt, daß sein Spektrum aus einer hellen grünen, wahrscheinlich mit der intensivsten Nordlichtlinie coincidierenden Lichtlinie und aus einem schwachen, kontinuierlichen Spektrum besteht, das nach der roten Seite hin scharf abgeschnitten ist. Zu minder befriedigenden Resultaten führten die Untersuchungen über die Polarisation des Zodiakallichtes. Während nämlich

Liais kein polarisiertes Licht in demselben auffinden konnte, ist dasselbe nach A. Wright, der allerdings mit empfindlicheren Instrumenten und Anwendung aller möglichen Vorsichten beobachtete, sogar ziemlich stark polarisiert.

Der zweite Hauptteil des Phänomens, der Gegenschein, ist am leichtesten im März und April in den Sternbildern des Löwen und der Jungfrau wahrzunehmen; schwieriger schon in den Monaten September und Oktober, wo er den Wassermann und die Fische durchwandert. In den anderen Monaten ist er teils wegen tiefer Stellung, teils wegen seiner Lage in den Verästelungen der Milchstraße kaum mit Sicherheit aufzufinden. Zur Erkenntnis der Lichtbrücke, welche den Gegenschein mit den Hauptpyramiden des Zodiakallichtes verbindet, gehört aber in unseren Breiten ein vorzügliches Auge und eine ungewöhnlich reine Luft; in den Tropenländern hingegen muß auch sie, nach den Beobachtungen von G. Jones zu urteilen, wenigstens an gewissen Orten eine ziemlich auffällige Erscheinung sein.

Die Natur und das Wesen des Zodiakallichtes sind uns noch völlig dunkel. Vor der Auffindung des Gegenscheines hielt man es, seit Cassini, vielfach für eine weit ausgedehnte stark abgeplattete Sonnenatmosphäre oder auch nach der Hypothese von Fatio de Duillier für den Widerschein einer zahllosen Menge von minutiösen Körperchen, welche die Sonne nahezu in der Ebene ihres Äquators umkreisen und die periodischen Sternschnuppenfälle hervorrufen sollten. In neuerer Zeit sprachen sich G. Jones und E. Heis dafür aus, daß das Zodiakallicht ein Nebelring sei, der die Erde innerhalb der Mondbahn umschwebt. Indes lassen sich auch dagegen sehr gewichtige Bedenken erheben. A. Serpieri endlich ist durch eine sehr sorgfältige Diskussion der schönen Beobachtungsreihe von G. Jones zu dem Schlusse gelangt, daß das Zodiakallicht sowie das Nordlicht eine rein terrestrische Erscheinung sei, — eine Ansicht, die wohl noch durch zahlreiche, nach einem zweckmäßigen Plane angestellte Beobachtungen gar sehr einer weiteren Begründung bedarf. — Merkwürdigerweise erfreut sich das so auffällige Phänomen erst seit der Mitte des siebzehnten Jahrhunderts allgemeinerer Beachtung, zu der Childrey veranlaßte.

Kapitel XII.

Gebrauch des Himmels- und des Erdglobus und der Sternkarten.

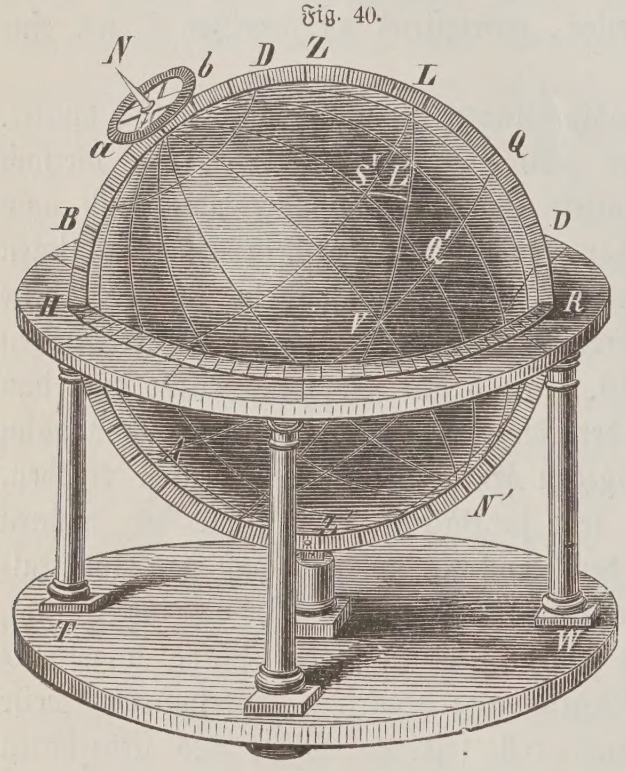
A. Himmelsglobus.

§ 114. (Einrichtung des Himmelsglobus.) Es wurde schon in der Einleitung (§§ 3, 24) daran erinnert, daß man sich auf einem Globus alle am Himmel und auf der Erde gezogenen größten Kreise und deren Verhalten gegen einander deutlicher und klarer versinnlichen kann, als mit Hilfe von Zeichnungen in einer

Ebene. Ebendaselbst wurde zugleich darauf hingewiesen, daß man mittels eines solchen Instrumentes eine große Anzahl von Aufgaben ohne Rechnung, zwar nicht sehr genau, dafür aber sehr bequem auflösen und sich von den mannigfaltigen Erscheinungen des Himmels eine bildliche und eben dadurch sehr deutliche Anschauung erwerben kann.

Es wird daher am Schlusse dieser ersten, ohnehin vielleicht zu sehr didaktischen Abteilung unserer astronomischen Unterhaltungen nicht unangemessen sein, die vorzüglichsten dieser Aufgaben hier kurz anzuzeigen und dadurch nicht nur eine, wie wir glauben, nützliche und selbst notwendige Wiederholung des bisher Gesagten, sondern auch eine dem Leser vielleicht willkommene Versinnlichung der vorhergehenden Gegenstände einzuleiten, um dann mit um so leichterem Mute zu der zweiten Abteilung dieser Schrift überzugehen, welche die viel einfachere und angenehmere beschreibende Astronomie enthalten soll. An jene Betrachtung des Globus wird sich schicklich eine Anweisung zum Gebrauche der Sternkarten anreihen.

Fig. 40.



Von Globen hat man bekanntlich zwei Gattungen: den Himmels- und den Erdglobus, von welchem jener die Oberfläche des Himmels und dieser die der Erde darstellt. Die nebenstehende Zeichnung bezieht sich auf einen Himmelsglobus, in dessen Mittelpunkt man sich den Mittelpunkt der Erde zu denken hat.

Ein Himmelsglobus (Fig. 40) besteht also aus einer Kugel, die in zwei einander gegenüberstehenden Punkten N und N' durch zwei Stifte in einem in Grade geteilten, metallenen Ringe NQZ'B so befestigt ist, daß sich diese Kugel um die gerade Linie NN' als um eine Achse frei drehen läßt. Dieser Ring ruht auf einem Fußgestelle HTRW, dessen oberer Rand HR einen ebenfalls eingeteilten Ring trägt. Der Stift bei N, der sich mit der Kugel zugleich dreht, trägt einen Zeiger, welcher sich auf einem an dem metallenen Ringe befestigten und in 24 Stunden geteilten Kreise ab, der sogenannten Rose, bewegt.

Die beiden Punkte N und N' stellen die Weltpole und die gerade durch den Mittelpunkt der Kugel gehende Linie NN' die Weltachse vor. In gleichen Entfernungen von den beiden Polen steht der Äquator AVQ (§ 5) mit seinen durch L und D gehenden Parallelkreisen (§ 14). Die Ekliptik hat man sich in

VL'L (§ 11) zu denken. Die durch N und N', also senkrecht auf den Äquator gezogenen Kreise, wie NQN', NQ'N' NVN' . . sind Deklinations- oder Stundenkreise (§ 9). Bezeichnet daher wieder V den Frühlingspunkt und S' irgend ein Gestirn, so wird, wenn S'L' senkrecht auf der Ekliptik ist, VQ' die Rektascension, Q'S' die Deklination, VL' die Länge, L'S' die Breite des Gestirns S' sein.

Der metallene Ring NQZ'B, der immer mit einem Deklinationskreise der Kugel zusammenfällt, stellt den Meridian (§ 7), und der Kreis HR des Fußgestelles stellt den Horizont (§ 6) des Beobachters vor, dessen Zenith Z und Nadir Z' ist. Man denkt sich daher diesen Beobachter auf dem höchsten Punkte der Erde oder in dem obersten Punkte desjenigen Erddurchmessers, der verlängert durch die beiden Punkte Z und Z' des Himmels geht, wie denn in der That jeder Beobachter immer den höchsten Punkt der Erdoberfläche einzunehmen glaubt.

§ 115. (Orientierung des Globus.) Um den Globus für jede gegebene Zeit so zu stellen, daß er ein getreues Bild des Himmels für diese Zeit darstellt, oder um ihn zu orientieren, hat man folgendes zu beobachten:

1. Man bewegt den metallenen Ring BNZQ in der horizontalen Scheibe HR so lange auf und nieder, bis der Bogen HN der Polhöhe des gegebenen Beobachtungsortes gleich ist, was man an der Einteilung jenes Ringes erkennt. Dadurch wird zugleich das Zenith Z dieses Beobachtungsortes in den höchsten Punkt des Globus gebracht.

2. Hierauf sucht man in dem auf der horizontalen Scheibe HR angebrachten Verzeichnisse die Länge VL' der Sonne für den gegebenen Tag, wodurch man den Punkt L' des Himmels erhält, in welchem, an diesem Tage, die Sonne sich aufhält. Man dreht dann den Globus um seine Achse NN' so lange, bis dieser Ort L' unter den oberen Teil NQR des Meridians oder des metallenen Kreises kommt, und stellt, für diesen Stand des Globus, den Zeiger der Rose auf 0 oder 12 Uhr.

3. Endlich dreht man das ganze Gestelle samt seinem Globus so, daß die Linie HR mit der Mittagslinie (§ 7) des Beobachtungsortes nahe gleich liegt und der Punkt H nach Nord und R nach Süd gerichtet ist. Zu diesem Zwecke ist gewöhnlich an dem Fußgestelle eine kleine Magnetnadel angebracht, die aber entbehrt werden kann, da die Orientierung in dieser Beziehung keineswegs eine große Genauigkeit erfordert.

§ 116. I. (Darstellung des Himmels, wie derselbe einem Beobachter zu einer gegebenen Zeit erscheint.) In dieser Stellung ist der Globus für die geographische Breite des Beobachters und für den gegebenen Tag des Jahres, und zwar für den Mittag dieses Tages orientiert, d. h. alle Sternbilder des Himmels haben ganz dieselbe Lage, wie sie durch den Globus angedeutet wird. Verlängert man nämlich den Halbmesser des Globus, der von dem Mittelpunkte desselben z. B. durch den Polarstern oder durch irgend ein anderes Gestirn des Globus geht, bis er die Fläche des Himmels trifft, so wird er am Himmel durch denselben Stern gehen,

durch dessen Bild am Globus er gegangen ist. Dreht man dann die Kugel, ohne das Instrument weiter zu verrücken, gegen West oder in der Richtung von Q nach V, bis der Zeiger der Rose ab auf 6, 12, 18 . . Stunden fällt, so erhält man das Bild des Himmels, wie er an demselben Beobachtungsorte um 6 Uhr abends, um Mitternacht, um 6 Uhr morgens . . erscheint.

Hat man so den Globus für eine gegebene Stunde der Nacht gestellt, so wird man nach dem Augenmaße diejenigen Sterne, die man am Himmel kennen lernen will, durch gerade Linien mit dem Mittelpunkte des Globus verbinden und in den Durchschnittspunkten dieser Linien mit der Oberfläche des Globus das Sternbild. und die Namen der Sterne, die man sucht, verzeichnet finden. Auf diese einfache Weise wird man in kurzer Zeit den ganzen Himmel mit allen seinen vorzüglichsten Gestirnen durchgehen und kennen lernen. Außerdem aber kann man jetzt noch eine große Anzahl interessanter Fragen ohne Mühe auflösen, von denen wir einige der wichtigeren einzeln und gesondert anführen wollen.

II. (Die Circumpolarsterne zu finden.) Um die Circumpolarsterne (Einl., § 17) zu finden, wird man die auf die gegebene geographische Breite des Beobachters gestellte Kugel des Globus rings um ihre Achse drehen und dabei, auf der Nordseite, sofort alle die Sterne erblicken, die bei jener Drehung der Kugel nicht unter den Horizont des Globus kommen, sowie auf der Südseite diejenigen, welche nie über diesen Horizont gelangen. Hält man während dieser Drehung in den beiden Punkten, wo der Ring den Horizont schneidet, die Spitze eines Bleistifts an die Kugel, so beschreibt diese Spitze bei der Drehung der Kugel einen Kreis, der die nördlichen sowohl als auch, auf der anderen Seite, die südlichen Circumpolarsterne sämtlich umfaßt.

III. (Den Ort der Planeten und der Sonne unter den Fixsternen anzugeben.) Dazu hat man sich zuerst in irgend einer Ephemeride oder in einem astronomischen Kalender den Ort des betreffenden Planeten aufzusuchen, und diesen dann auf dem Globus zu bemerken. So findet man z. B., daß Saturn am 18. August 1894 die geocentrische (von der Erde gesehene) Rektascension $200^{\circ}\,20'$ und die südliche Deklination $6^{\circ}\,2'$ hat. Sucht man diesen Ort auf dem Globus auf, so sieht man, daß Saturn an diesem Tage von der Erde in der Mitte der Jungfrau, gerade 4° nördlicher als Spika, der hellste Stern des Sternbildes gesehen wird.

Genau ebenso kann man für die Sonne verfahren. Gewöhnlich ist aber die Länge derselben auf dem Horizonte des Globus für jeden Tag angegeben, so daß man sie einfacher von dort nehmen und auf dem Globus sich anmerken kann.

IV. (Aus der Rektascension und Deklination eines Gestirns die Länge und Breite desselben zu finden.) Um aus der Stellung eines Sterns gegen den Äquator die Lage desselben gegen die Ekliptik zu bestimmen, ist es vorteilhaft, einen besonderen Bogen von dünnem Metallblech zu haben, der nach dem Globus gekrümmt und gleich ihm in Grade eingeteilt ist. In Ermangelung eines solchen kann man diesen Bogen auch durch einen schmalen Streifen Papier ersetzen, der sich, wenn er

auf der Kugel ausgespannt wird, von selbst in einem größten Kreise derselben krümmt.

Wenn nun, wie im vorhergehenden Beispiele, für Saturn die Rektascension $200^{0}\ 20'$ und die südliche Deklination $6^{0}\ 2'$ gegeben und der Ort desselben auf dem Globus verzeichnet ist, so wird man den erwähnten Streifen durch diesen Ort und durch den Pol der Ekliptik legen, wodurch dieser Streifen eine auf der Ekliptik senkrechte Stellung erhält (Einl., § 2). Dann wird also auch der Punkt der Ekliptik, wo sie von dem Streifen geschnitten wird, die Länge, und der Punkt des eingeteilten Streifens selbst, der auf den Ort des Planeten fällt, die Breite Saturns bezeichnen. Man erhält in unserem Beispiele diese Länge gleich $131^{0}\ 41'$ und die nördliche Breite gleich $0^{0}\ 41'$.

Ganz ebenso wird man auch umgekehrt aus der gegebenen Länge und Breite eines Gestirns die Rektascension und Deklination desselben finden.

V. (Den Auf- und Untergang und die Morgen- und Abendweite der Sonne zu finden.) Man orientiere den Globus für die gegebene geographische Breite und für den gegebenen Jahrestag und stelle den Zeiger der Rose auf 12^{h} mittags. Dann drehe man die Kugel nach Ost, bis der Punkt der Ekliptik, welchen an diesem Tage die Sonne einnimmt, in dem Horizonte steht, wo dann der Zeiger der Rose die Zeit des Aufgangs zeigt, und wo zugleich auf dem Horizonte des Globus die Entfernung des Punkts, bei welchem die Sonne aufgeht, von dem wahren Ostpunkt, d. h. die Morgenweite der Sonne für diesen Tag abgelesen werden kann. Ganz auf dieselbe Weise findet man auch, wenn man die Kugel nach West dreht, die Zeit des Unterganges und die Abendweite der Sonne. So erhält man für Wien am 1. Mai 1894 die Länge der Sonne $41^{0}\ 2'$, den Aufgang $4^{h}\ 46^{m}$, den Untergang $7^{h}\ 11^{m}$ und die Morgen- und Abendweite $21^{0}\ 30'$.

VI. (Die Zeit der Kulmination und des Auf- und Untergangs eines Gestirns zu finden.) Man orientiere den Globus, stelle den Zeiger auf 12^{h} und suche den Ort des Gestirns (nach III) auf dem Globus. Dreht man dann die Kugel, bis dieser Ort unter den Ring auf der Ost- und Westseite unter dem Horizont kommt, so zeigt die Rose für diese drei Stellungen der Kugel die Zeit der Kulmination (Einl., § 16) und die Zeit des Auf- und Unterganges des Gestirns. Die beiden letzten Zeiten geben den Tagbogen (Einl., § 15), und dieser von 24 Stunden subtrahiert giebt den Nachtbogen des Gestirns. Am 11. Mai 1834 war z. B. die Länge der Sonne $50^{0}\ 24'$, die Rektascension des Mondes im Mittag $79^{0}\ 28'$ und seine nördliche Deklination $22^{0}\ 30'$; also ging an diesem Tage der Mond um $2^{h}\ 6^{m}$ nachmittags durch den Meridian, oder seine Kulmination hatte um $2^{h}\ 6^{m}$ statt, sein Aufgang aber für Wien um $6^{h}\ 24^{m}$ morgens und sein Untergang um $10^{h}\ 38^{m}$ abends.

VII. (Den kosmischen Auf- und Untergang der Sterne zu finden.) Der kosmische Auf- oder Untergang eines Fixsterns fällt, nach § 19, auf diejenigen Tage des Jahres, an denen er mit der Sonne zugleich auf- oder untergeht.

Um diese Tage für eine gegebene geographische Breite zu finden, bringe man den betreffenden Stern, durch Drehung der Kugel, in den östlichen Horizont des Globus und bemerke den Grad der Ekliptik, der zugleich mit dem Sterne auf der Ostseite in dem Horizonte steht. Dieser Grad, in einer astronomischen Ephemeride oder auf dem Horizonte des Globus nachgesucht, giebt den gesuchten Jahrestag des kosmischen Aufgangs des Sterns. Bemerkt man den Grad der Ekliptik, der zugleich mit dem Sterne, aber auf der Westseite im Horizonte steht, so giebt dieser Grad den Tag, an welchem der Stern achronisch aufgeht, u. s. w.

VIII. (Für jede Stunde die Höhe und das Azimut eines Sterns für einen gegebenen Beobachtungsort zu finden.) Nachdem man den Globus orientiert und den Zeiger auf 12^h gestellt hat, drehe man die Kugel, bis die Rose die gegebene Stunde anzeigt. In dieser Lage der Kugel lege man den oben (IV) erwähnten Streifen so durch den gegebenen Stern, daß er zugleich durch den höchsten Punkt der Kugel (oder durch das Zenith des Beobachters, also senkrecht auf den Horizont) geht. Dann zeigt der Horizont des Globus das Azimut und der Streifen die Höhe (Einl., § 8) des Sterns.

IX. (Zu jeder gegebenen mittleren Zeit die Sternzeit zu finden.) Man orientiere den Globus, stelle den Index der Rose auf 12^h mittags und drehe dann die Kugel, bis die Rose die gegebene mittlere Zeit anzeigt. Der Punkt des Äquators, der jetzt unter dem Ringe (Meridiane) steht, giebt die Sternzeit. Z. B. am 1. Mai um 4^h abends mittlere Wiener Zeit findet man den erwähnten Punkt des Äquators gleich $98^0\ 45'$, und dies ist die sogenannte Rektascension des Zeniths, die, nach Einl., § 1 in Zeit verwandelt, $6^h\ 35^m$ als gesuchte Sternzeit giebt.

X. (Den Tag zu bestimmen, an welchem die Sonne zu einer bestimmten Zeit auf- oder untergeht.) Wenn z. B. gefragt wird, an welchem Tage die Sonne zu Wien um 5^h untergeht, so stelle man den Globus auf die geographische Breite von Wien und bringe irgend einen Deklinationskreis (Einl., § 9) unter den Ring und den Zeiger auf 12^h. Dann drehe man die Kugel gen West, bis der Zeiger der Rose auf 5^h steht, und bemerke den Punkt jenes Deklinationskreises, der eben in dem Horizonte liegt. Wenn die Sonne die Deklination dieses Punktes hat, so wird sie offenbar um 5^h untergehen. Man drehe daher den Globus wieder zurück nach Ost, bis jener Punkt unter den Ring kommt, und lese auf dem Ringe die Deklination dieses Punktes, die man gleich $12^0\ 54'$ südlich findet. Dann drehe man den Globus weiter, bis jene Punkte der Ekliptik, denen die obige Deklination entspricht, unter dem Ringe stehen, lese die Länge derselben ab, und suche diese am Horizonte auf. Man findet so, daß diese Deklination zu dem 15. Februar und zu dem 27. Oktober gehört.

XI. (Zeitbestimmung.) Eine der wichtigsten Aufgaben der Astronomie ist die Bestimmung der Zeit, in welcher eine Beobachtung angestellt worden ist, weil

die Höhe, das Azimut, der Stundenwinkel u. s. w. der Gestirne sich in jedem Augenblicke ändert. Es hat daher der Astronom, der z. B. die Höhe der Sonne oder irgend eines anderen Gestirns, wenn auch mit der größten Schärfe beobachtet, damit noch gar nichts, was er zu irgend einem Zwecke brauchen könnte, gethan, wenn er nicht auch zugleich die Zeit dieser Beobachtung mit derselben Schärfe anzugeben imstande ist.

Diese Zeit soll nun, wie bekannt, durch unsere Uhren angegeben werden. Allein diese Uhren müssen, wenn sie zu diesem Zwecke brauchbar sein sollen, vor allem gut gehen. Wie kann man aber erfahren, ob eine Uhr in der That gut, und zwar so gut geht, daß man sich bei genauen Untersuchungen auf sie verlassen kann?

Die Frage ist bereits oben (§ 98) berührt worden und wird in der Folge (4. Abt.) durch Beispiele umständlich erläutert, daher wir uns hier nicht weiter dabei aufhalten wollen. Wir bemerken daher nur, daß die einfachsten und leichtest auszuführenden Beobachtungen, die man zu diesem Zwecke anwenden kann, Beobachtungen der Höhe der Gestirne sind.

Gesetzt, man habe am 30. Juli nachmittags mit einem Quadranten (Einl., § 19) oder mit Eble's Sextanten (4. Abt.) zu Wien die Höhe des Mittelpunkts der Sonne gleich $29^{\circ}\ 15'$ zu einer Zeit gefunden, da die Uhr $4^{h}\ 30^{m}$ gab. — Man bringe nun den Globus auf die Polhöhe von Wien ($48^{\circ}\ 14'$), den Ort der Sonne (Länge $127{\cdot}1^{\circ}$) unter den Ring und die Rose auf 12^{h}. Dann drehe man die Kugel gen West, bis dieser Ort der Sonne (mittels des oben IV erwähnten Streifens zu messen) die Höhe von $29^{\circ}\ 15'$ über dem Horizonte des Globus erreicht. Wenn in dieser Lage die Rose $4^{h}\ 27^{m}$ zeigt, so ist die gesuchte wahre Zeit jener beobachteten Höhe $4^{h}\ 27^{m}$ und daher die Voreilung der Uhr gegen wahre Zeit in jenem Augenblicke gleich 3^{m}.

Auf ähnliche, nur minder einfache Weise wird man zu demselben Zwecke sich auch der Fixsterne statt der Sonne bedienen. Um auch dies durch ein Beispiel zu erläutern, wollen wir die Beobachtung vornehmen, welche der berühmte Reisende Karstens Niebuhr am 11. Oktober 1761 zu Alexandrien angestellt hat. Er fand daselbst mit seinem Quadranten in der Abendstunde, als seine Uhr $10^{h}\ 47^{m}$ zeigte, auf der Ostseite des Himmels die Höhe des Aldebaran (eines Sterns der ersten Größe im Stier) gleich $28^{\circ}\ 34'$. — Um daraus die Zeit dieser Beobachtung oder, was dasselbe ist, die Korrektion der dabei gebrauchten Uhr zu finden, bringe man den Globus auf die Polhöhe von Alexandrien ($31^{\circ}\ 12'$), den Ort der Sonne, deren Länge $197^{\circ}\ 16'$ war, unter den Ring und den Zeiger auf 12^{h}. Dann befestige man den obersten Endpunkt des oben (IV) erwähnten Streifens auf dem höchsten Punkte der Kugel und drehe diese Kugel gen West, bis Aldebaran auf der Ostseite des Himmels die Höhe von $28^{\circ}\ 34'$ über dem Horizonte des Globus erreicht. Da in dieser Lage der Kugel die Rose derselben

$10^h\ 49^m$ zeigt, so ist dies zugleich die wahre Zeit der Beobachtung und daher die Verspätung der Uhr gegen wahre Zeit in dem Augenblicke der Beobachtung 2^m.

Wie man aber, wenn man die wahre Zeit einer Beobachtung kennt, auch die mittlere und die Sternzeit derselben ableiten und dadurch den Stand der Uhr gegen diese beiden letzteren Zeiten bestimmen kann, ist bereits (§ 96 und 97) gesagt worden.

XII. (Gebrauch des Äquators statt der Rose.) Die letzte und überhaupt alle vorhergehenden Auflösungen durch den Globus lassen sich allerdings nicht mit derjenigen Schärfe ausführen, die man mit den trigonometrischen Rechnungen erreichen kann. Da es aber doch häufig Fälle giebt, wo diese Genauigkeit nicht gefordert wird, und wo eine deutliche, anschauliche Darstellung der Sache selbst dem Geübten willkommen ist, so wollen wir noch bemerken, daß man durch den Gebrauch des Äquators statt der Rose eine viel höhere Schärfe erreichen kann. Denn die Rose ist auf den meisten Globen so klein, daß man auf ihr oft 10 und mehr Zeitminuten nicht mehr mit Sicherheit angeben kann, während der Äquator gewöhnlich ein so gut eingeteilter Kreis der Kugel ist, daß man bei den größeren und mit Sorgfalt gearbeiteten Globen die Zeit damit bis auf 2 oder 3 Minuten genau bestimmen kann.

Um auch dies durch ein Beispiel deutlich zu machen, wollen wir den Globus für irgend einen Ort und Tag, z. B. für den 30. Juli 1894 um 9^h morgens Wiener Zeit, orientieren, so daß er mit dem Stande des Himmels zu dieser Zeit vollkommen übereinstimmt.

Oben (I) haben wir diese Aufgabe auf folgende Weise aufgelöst: man stelle den Globus auf die Polhöhe Wiens, bringe den Punkt der Ekliptik, der die Länge der Sonne anzeigt ($127^0\ 13'$), unter den Ring und die Rose auf 12^h; dann drehe man die Kugel gen Ost, bis die Rose 9^h morgens giebt.

Statt dieser Vorschrift werden wir nun, mit größerer Genauigkeit, folgende aufstellen: man stelle den Globus auf die Polhöhe Wiens und den Punkt des Äquators, den die Rektascension der Sonne anzeigt (hier $8^h\ 32^m = 128^0$) unter den Ring, wodurch der Globus für den Mittag dieses Tages orientiert ist. Um ihn dann für 9^h morgens zu stellen, dreht man die Kugel gegen Ost, bis der mit $5^h\ 32^m = 83^0$ bezeichnete Punkt des Äquators unter den Ring kommt. Wollte man ihn aber z. B. für 10^h abends stellen, so wird man die Kugel gen West drehen, bis der mit $18^h\ 32^m = 278^0$ bezeichnete Punkt des Äquators unter den Ring kommt u. s. w. Legt man dann, in der letzten Lage des Globus, den oben (IV) erwähnten Streifen so an die Kugel, daß er durch den höchsten Punkt der Kugel (oder durch das Zenith des Beobachters) und durch ein bestimmtes Gestirn geht, so erhält man die Höhe dieses Gestirns, wie es am 30. Juli um 10^h abends in Wien erscheint. Auf eine ähnliche Weise wird man mit allen den früher angeführten Aufgaben verfahren.

B. Erdglobus.

§ 117. I. (Darstellung der Jahreszeiten und ihrer Erscheinungen durch den Erdglobus.) Man stelle in einem verfinsterten Zimmer in der Mitte eines runden, mäßig großen Tisches ein Licht auf, dessen Höhe über dem Tische nahe gleich dem Halbmesser des Globus ist. Dann führe man an dem Rande dieses Tisches die Kugel so um das Licht herum, daß erstens der Mittelpunkt der Kugel immer in der Ebene des Lichtes bleibt, und daß zweitens die Rotationsachse der Kugel immer dieselbe Neigung, von nahe $66^0\,32'$, beibehält, also stets nach demselben Punkt des Himmels gerichtet oder sich selbst parallel bleibt. — Bei dieser Bewegung der Kugel wird man auf ihrer Oberfläche alle die Erscheinungen und in derselben Ordnung sich entwickeln sehen, welche die Folge der Jahreszeiten auf der Oberfläche der Erde begleiten. Es wird eine Stellung der Kugel am Rande des Tisches geben, bei welcher der Nordpol ihrer Drehungsachse zur Sonne hin gerichtet ist, wie dies in der Fig. 10 (S. 85) bei B dargestellt ist, wo p den Nordpol des Äquators a bezeichnet. Wenn man in dieser Stellung die Kugel um ihre Achse pq dreht, so wird man sehen, daß der Nordpol p der Erde immer in der lichten, der Sonne zugewendeten Hälfte der Erde bleibt, während der Südpol q im Gegenteile die dunkle Nachtseite der Erde nie verläßt. Dies ist daher die Stellnng der Erde zur Zeit unseres Sommers, in der Mitte des Juni. Man sieht dann auf dem Globus, während er um seine Achse gedreht wird, daß den Bewohnern der Umgegend des Nordpols für diese Zeit die Sonne gar nicht unter- und denen des Südpols nicht aufgeht; daß für die Bewohner der nördlichen Hemisphäre der Tag um so länger ist, als die Nacht, je weiter sie selbst von dem Äquator entfernt sind, oder je größer ihre geographische Breite ist, und daß in der südlichen Hemisphäre das Gegenteil statthat, u. s. f.

Läßt man dann die Kugel den vierten Teil ihres Weges um den Tisch weiter gehen, so daß sie nun nach C kommt, so wird jetzt, da die Achse pq immer mit ihrer ersten Lage parallel bleibt, der Nord- und der Südpol der Erde in der Schattengrenze selbst liegen, und Tag und Nacht wird, in dieser Lage der Kugel, wenn sie wieder um ihre Achse pq gedreht wird, für alle Orte der Erde gleich groß sein, oder die Kugel wird die Stellung der Erde gegen die Sonne im Anfange des Herbstes unserer nördlichen Hemisphäre, in der Mitte des September, darstellen.

Am Ende eines zweiten Vierteils des Umlaufs der Kugel wird sie in D, dem ersten Punkte B gegenüber, ankommen, und da hier der Nordpol p am meisten von der Sonne S weggekehrt ist, so wird derselbe, wie man auch die Kugel um ihre Achse drehen mag, immer in der Nachtseite der Erde, sowie der Südpol q immer in der Tagseite derselben liegen; den Bewohnern der Umgegend des Nordpols wird jetzt die Sonne längere Zeit nicht auf- und denen des Südpols nicht untergehen; die Tage der nördlichen Hemisphäre werden kürzer und die

der südlichen länger sein, als die Nächte; jene Halbkugel wird daher (um die Mitte des Dezember) ihren Winter und diese ihren Sommer haben.

Kommt weiter die Kugel auf ihrem Laufe um die Sonne, die hier von dem Lichte in der Mitte des Tisches dargestellt wird, nach A, gegenüber von C, so wird wieder, wie in C, die Schattengrenze durch die beiden Pole gehen, und Tag und Nacht werden auf der ganzen Erde gleich sein, wie dies im Frühling, um die Mitte des März, der Fall ist.

Auf diese Weise wird man also durch den Globus alle Erscheinungen der Jahreszeiten, die bereits oben (§ 33) angegeben worden sind, deutlich darstellen und sich versinnlichen können.

II. (Verhältnis der einzelnen Orte der Erde gegen einander.) Wenn man den Nordpol der Kugel so viel über den Horizont des Globus erhöht, als die nördliche geographische Breite eines Ortes z. B. von Wien beträgt, und wenn man dann diesen Ort unter den Ring (Meridian) des Globus führt, so übersieht man in dieser Stellung des Globus mit einem Blicke alle die Länder und Meere, die durch den wahren Horizont (Einl., § 6) des Beobachters gehen, die denselben Parallelkreis (Einl., § 14) mit ihm bewohnen, seine Antipoden u. s. f. Will man die Entfernung zweier Orte — z. B. Wien und Paris — von einander finden, so wird man nur den oben (§ 116, IV) erwähnten, in Grade geteilten Streifen durch die beiden Orte der Kugel legen und die Anzahl der zwischen ihnen enthaltenen Grade durch 15 multiplizieren, um diese Entfernung in geographischen Meilen, oder durch 111·3, um Kilometer zu erhalten.

Die geographische Breite jedes Ortes wird man, sobald man den Ort unter den Meridian des Globus geführt hat, an diesem Meridiane ablesen. Die Differenz der geographischen Länge von zwei Orten aber wird man finden, wenn man einen nach dem andern durch den Meridian führt und im Augenblick ihres Durchganges durch den Meridian den Zeiger der Rose abliest. Wenn dieser Zeiger z. B. für Paris $4^h\,30^m$ und für Wien $5^h\,26^m$ gab, so ist die geographische Länge Wiens von Paris gleich $0^h\,56^m$ in Zeit oder $14^0\,0'$ in Bogen, woraus zugleich folgt, daß Wien zu jeder Zeit des Tages um $0^h\,56^m$ mehr zählt, als Paris in demselben Augenblicke, weil Wien um ebenso viel weiter gegen Osten liegt, als Paris. So findet man auch durch den Globus, daß die Längendifferenz zwischen Paris und Peking $7^h\,36^m$ beträgt, daß also auch Peking schon $7^h\,36^m$ abends in demselben Augenblicke zählt, wo Paris eben Mittag hat.

III. (Bestimmung des Auf- und Untergangs der Sonne mittelst eines Erdglobus.) In Ermangelung eines Himmelsglobus kann man auch, mit einigen Veränderungen, die meisten der vorhergehenden astronomischen Aufgaben, die sich auf die Gestirne des Himmels beziehen, mit Hilfe eines Erdglobus auflösen. Zu diesem Zwecke hat man auf dem letztern gewöhnlich auch die Ekliptik verzeichnet, obschon dieselbe für einen Erdglobus nicht angemessen ist und auch in der That leicht entbehrt werden könnte, wie wir sogleich an dem folgenden Beispiele sehen werden.

Um den Ort der Sonne in ihrer Bahn für jeden gegebenen Tag des Jahres zu finden, kann man die Länge derselben entweder aus dem Horizonte des Globus nehmen, der zu diesem Zwecke eine eigene Tafel enthält, oder aus einer Ephemeride. Man bringt nun den Punkt der Ekliptik, der jener Sonnenlänge entspricht, unter den Meridian, stellt den Zeiger auf 12^h und den Nordpol des Äquators in die Höhe der geographischen Breite und verfährt dann mit dem Erdglobus ganz so, wie oben § 116 V für den Himmelsglobus gesagt worden ist.

Man kann aber auch, ohne Hilfe der Ekliptik, auf folgende Weise verfahren. — Man entnimmt einer Ephemeride für den gegebenen Tag die Deklination der Sonne, welche in dem Beispiele des § 116 V für den 1. Mai $15^0\ 9'$ ist. Nun drehe man die Kugel in ihrem Ringe, bis irgend ein Ort der Erde unter der auf diesem Ringe verzeichneten Deklination von $15^0\ 9'$ steht, wie dies hier z. B. mit Goa in Ostindien der Fall ist. Man stellt also Goa unter den Ring, den Zeiger der Rose auf 12 und den Pol unter die geographische Breite von Wien, die gleich $48^0\ 14'$ ist. Dreht man dann den Globus gen Ost, bis Goa am Horizonte erscheint, so zeigt die Rose $4^h\ 46^m$ morgens für die Zeit, zu welcher an diesem Tage in Wien die Sonne aufgeht, und in gleicher Art findet man, wenn man den Globus ebenso weit gen West dreht, für den Untergang der Sonne in Wien $7^h\ 11^m$ abends, wie oben.

Auf diese Weise wird man auch mit den Aufgaben VI und VII des § 116 verfahren, wenn man die Deklination der Sonne und irgend eines anderen Gestirns samt der Differenz ihrer Rektascension durch zwei willkürliche Punkte des Erdglobus bezeichnet.

IV. (Wie die Erde zu jeder gegebenen Zeit von der Sonne beleuchtet wird.) Suchen wir die Beleuchtung der Erde durch die Sonne für den Mittag des 7. November 1894 in Wien, für welche Zeit die südliche Deklination der Sonne gleich $16^0\ 22'$ ist.

Man stelle den Nordpol, wenn die Deklination der Sonne nördlich ist, oder den Südpol, wenn sie südlich ist, so viele Grad über den Horizont des Globus, als diese Deklination beträgt (in unserem Beispiele wird also der Südpol in die Höhe von $16^0\ 22'$ gestellt), und bringe Wien unter den Meridian und den Zeiger auf 12^h. In dieser Lage der Kugel steht die Sonne (in unendlicher Entfernung) senkrecht über dem Punkte unter dem Ringe. Es wird daher die über dem Horizonte des Globus liegende Hälfte der Erde in diesem Augenblicke, wo es in Wien Mittag ist, von der Sonne beschienen, während die andere, untere Hälfte Nacht hat. Alle Bewohner der Erde, die jetzt unter jenem Teile des Ringes stehen, welcher zwischen dem Südpole und dem Südpunkte des Horizontes liegt, haben eben Mittag; jene hingegen, welche von dem Teile des Ringes zwischen Südpol und Nordpunkt bedeckt werden, Mitternacht; ferner geht den Bewohnern der Ostseite des Horizontes die Sonne eben unter, denen der Westseite auf.

Will man sehen, wie sich die Beleuchtung der ganzen Erde in dem

Augenblicke verhalte, da es in Wien 6^h abends ist, so dreht man die Kugel des Globus gen West, bis die Rose 6^h zeigt, und in dieser Lage haben alle Orte der Erde, die unter dem oberen Teile des Ringes liegen, eben Mittag, die im östlichen Horizonte Sonnenuntergang, die im westlichen Sonnenaufgang u. s. w. Dreht man die Kugel ganz um ihre Achse, so findet man alle die Orte, die nach und nach durch den Grad 16^0 22′ der südlichen Deklination des Ringes gehen (wie Porto Seguro und der Titicaca-See in Süd-Amerika, Otahaiti, die neuen Hebriden u. s. f.) und an diesem Tage in ihrem Mittag die Sonne im Zenithe sehen; alle diejenigen aber, die 10, 20, 30 . . Grad nördlich oder südlich von jenem Parallelkreise von 16^0 22′ südlicher Breite wohnen, sehen in ihrem Mittage die Sonne 10, 20, 30 . . Grad vom Zenithe entfernt. Diejenigen Orte um den Nordpol, welche bei der Drehung der Kugel nicht über den Horizont heraufkommen, sehen die Sonne gar nicht und haben eben ihre lange Nacht, da die ganze nördliche Hemisphäre der Erde ihren Winter feiert; ebenso geht für die Punkte um den Südpol, die bei der Drehung der Kugel nicht unter den Horizont gelangen, die Sonne nicht unter, da die südliche Halbkugel ihren Sommer hat, u. s. w. Ferner erhält man durch die Umdrehung der Kugel in dem Ringe sofort die Länge des Tages und der Nacht für dieselbe Zeit (den 7. November) an jedem gegebenen Orte der Erde. Legt man an den Punkt der Kugel oder des Ringes, der für eine gegebene Wiener Zeit am höchsten steht, das eine Ende des in § 116 IV angeführten Streifens an und dreht dann den Streifen um jenen Punkt im Kreise herum, so findet man alle die Orte der Erde, welche zu jener Wiener Zeit die Sonne 10, 20, 30 . . Grad von ihrem Zenithe entfernt sehen u. s. w.

V. (Den längsten und kürzesten Tag eines Ortes zu finden.) Sucht man z. B. den längsten Tag für Petersburg, so stelle man den Nordpol auf die geographische Breite (59^0 56′) dieser Stadt, bringe sie unter den Ring, den Zeiger der Rose auf 12^h und bezeichne in dieser Lage der Kugel denjenigen Punkt derselben, der unter dem Teilstriche von 23^0 27′ des Ringes steht. Bringt man dann diesen Punkt, durch Drehung der Kugel, in den östlichen und westlichen Horizont, so zeigt die Rose im ersten Falle 2^h 50^m, und im zweiten 9^h 10^m, oder die Sonne geht in Petersburg am längsten Tag um 2^h 50^m auf und um 9^h 10^m unter, so daß die Dauer des längsten Tages im Sommer daselbst 18^h 20^m und des kürzesten Tages im Winter nur 5^h 40^m beträgt.

C. Sternkarten.

§ 118. (Beschreibung und Gebrauch von Sternkarten.) Unsere Planiglobe (Tafel I und II) geben an ihrem äußeren Umfange, dem Äquator, die gerade Aufsteigung in Graden, an dem unteren vertikalen Halbmesser die Abweichung. Durch die Teilungspunkte dieses Halbmessers hat man sich koncentrische Kreise aus dem Mittelpunkte der Karte gezogen zu denken, die dann die Parallelkreise von 10^0, 20^0 u. s. w. Deklination bezeichnen, die letztere nördlich oder südlich, je nachdem

der betrachtete Punkt in die nördliche oder südliche Hemisphäre fällt. Will man nun aus einem solchen Planiglobe die Stellung eines Gestirns erfahren, so ziehe man durch den Mittelpunkt der Karte und das Gestirn eine Gerade; diese Gerade schneidet an der Randteilung bei dem Grade ein, der die Rektascension des Gestirns vorstellt; das Stück dieser Geraden zwischen der Randteilung und dem Sterne auf den geteilten Halbmesser übertragen, giebt sofort die Deklination des Gestirns. Man findet so z. B., daß der Stern Wega in der Leier $278^0\ 30'$ Rektascension und 38^0 nördliche Deklination hat.

Kennt man aber einmal diese Stellung eines Sterns, so unterliegt dessen Auffindung am Himmel weiter keiner Schwierigkeit; denn die gerade Aufsteigung giebt (Einl., § 1), in Zeit ausgedrückt, die Sternzeit der Kulmination des Gestirnes, aus welcher man (nach § 97) die mittlere Sonnenzeit dieser Kulmination, daher auch mit Hilfe jeder gewöhnlichen Uhr den Stundenwinkel des Gestirnes u. s. w. finden kann. Die Deklination aber, mit der geographischen Breite des Beobachtungsortes verglichen (Einl., § 18), giebt die Höhe, in welcher das Gestirn kulminiert. So findet man z. B. aus der oben für Wega bestimmten geraden Aufsteigung von $278^0\ 30'$ in Bogen oder $18^h\ 34^m$ in Zeit, daß Wega täglich um $18^h\ 34^m$ Sternzeit kulminiert. Dieser Sternzeit entspricht z. B. am 20. Juli die mittlere Sonnenzeit $10^h\ 44^m$; es kulminiert also Wega an diesem Tage um $10^h\ 44^m$ abends und hat demnach um $9^h\ 44^m$, $8^h\ 44^m$ u. s. w. einen östlichen Stundenwinkel von 1^h oder 15^0, 2^h oder 30^0 u. s. w. Aus der oben für Wega gefundenen nördlichen Deklination von 38^0 aber folgt, daß dieser Stern in Wien, dessen Äquatorhöhe gegen 42^0 beträgt, in einer Höhe von 80^0 oder nur 10^0 südlich vom Zenithe durch den Meridian geht.

Will man umgekehrt sehen, welche Gestirne zu einer gegebenen mittleren Zeit kulminieren, so hat man diese Zeit in Sternzeit zu verwandeln, diese Sternzeit in Bogen auszudrücken und dann auf der Karte jene Sterne aufzusuchen, welchen die diesem Bogen gleiche, oder für untere Kulminationen (Einl., § 17) die um 180^0 davon verschiedene gerade Aufsteigung zukommt. So findet man z. B., daß es am 24. August um $7^h\ 51^m$ mittlere Zeit abends $18^h\ 0^m$ Sternzeit ist, d. h. daß an dem besagten Tage zur genannten Stunde alle Gestirne im Meridiane stehen, deren Rektascension 18^h oder 6^h, d. h. 270^0 oder 90^0 beträgt. Für Wien, das 48^0 Polhöhe hat, und wo daher nur diejenigen Gestirne sichtbar sind, welche von 42^0 südlicher Abweichung über den Äquator und Nordpol hinaus bis 42^0 nördlicher Deklination liegen, wird man so aus der Karte ersehen, daß um jene Zeit der Kopf des Drachen nahe im Zenithe, der Schütze tief gegen den südlichen, der Fuhrmann ebenso gegen den nördlichen Horizont steht.

Noch bemerken wir, daß auf unseren Planigloben die Größe der Sterne (2. Abt. Kap. XV) durch konventionelle Zeichen wiedergegeben wird, (wie dies in populären Werken allgemein üblich ist), welche die Größenklasse der einzelnen Sterne leicht erkennen lassen. Das Gradnetz der Planiglobe ist auf das Jahr

1900 berechnet, und es sind in sternleeren Gegenden, der Orientierung wegen, noch einzelne Sterne sechster Größe eingezeichnet. Die letzten bilden so ziemlich die Grenze der Wahrnehmbarkeit für das freie Auge.

§ 119. (Erkennen der Gestirne durch Alignement.) Das einfachste Mittel, den gestirnten Himmel kennen zu lernen, liefert das Alignement oder die Verbindung der unbekannten Sterne mit den bereits bekannten durch gerade Linien der Karte, welche Linien dann am Himmel durch Bogen größter Kreise dargestellt werden. Jedermann kennt den großen Bären oder den Wagen, in welchem 7 größere Sterne auffallen, deren 4 ein Viereck und deren 3 andere eine krumme Linie bilden; von dieser Konstellation wollen wir daher im folgenden ausgehen.

Kleiner Bär.

Eine gerade Linie durch die 2 äußersten Sterne β und α des Vierecks im Wagen führt, wie die Tafel zeigt, auf den Polarstern oder auf den äußersten Stern im kleinen Bären, der ebenfalls 7 hellere Sterne umfaßt, die ein dem großen Bären ganz ähnliches, nur verkehrtes Bild geben, indem nämlich die Schweife der beiden Bären nach zwei einander entgegengesetzten Gegenden des Himmels gerichtet sind.

Nimmt man α und δ des Vierecks im großen Wagen als Basis eines gleichschenkligen Dreiecks, und errichtet man auf der Mitte dieser Basis in Gedanken ein Lot, das gegen den kleinen Bären gerichtet ist, so trifft dieses Lot auf den durch seine rötliche Farbe ausgezeichneten Stern β im kleinen Bären, der sowie der Polarstern der zweiten Größe ist.

Kassiopeia.

Der Polarstern liegt in der Mitte der Geraden, die δ großer Bär mit α Kassiopeia verbindet. Kassiopeia ist durch 5 Sterne α, β, γ, δ, ε ausgezeichnet, welche in der Ordnung $\beta\ \alpha\ \gamma\ \delta\ \varepsilon$ ein ziemlich regelmäßiges W bilden. Von diesen 5 Sternen steht α am Halse, β in der Stuhllehne und δ auf dem Knie der Kassiopeia.

Cepheus.

Eine Gerade durch α und β der Kassiopeia, nahe viermal so groß als diese Distanz, führt auf den Stern α an der Schulter des Cepheus. Dieser Stern bildet mit 2 anderen, β im Gürtel und γ auf dem Knie des Cepheus, ein gleichschenkliges Dreieck $\alpha\ \beta\ \gamma$, dessen Winkel an β nahe an 180^0 beträgt. Die Gerade durch α und β Cepheus geht auf den Polarstern.

Drache.

Eine Linie durch δ Kassiopeia und durch β Cepheus, noch einmal so weit verlängert, geht durch den Kopf des Drachen. Die andern größern Sterne dieses Bildes erkennt man leicht; denn diese Sternreihe bildet eine dem Z ähnliche Figur von 3 Linien, deren mittlere mit dem Viereck des kleinen Bären parallel ist, so

daß 2 dieser Linien den kleinen Bären auf seiner vordern Seite gleichsam einschließen. Jede Gerade durch irgend 2 der 7 Sterne des kleinen Bären geht sehr nahe durch einen größern Stern des Drachen.

Andromeda.

Eine Linie durch den Polarstern und durch β Kassiopeia geht, noch einmal so weit verlängert, durch den Stern α im Kopfe der Andromeda, und ebenso geht die Linie durch den Polarstern und durch ε Kassiopeia, doppelt genommen, auf γ Andromeda, wo man dann die übrigen Sterne dieses Bildes leicht auffinden wird.

Perseus.

Die Linie durch β und γ Andromeda, noch einmal so weit verlängert, geht auf die Mitte zwischen α und β Perseus (Algol im Meduſenhaupte). Eine Gerade durch α Cepheus und ε Kassiopeia geht nahebei durch 4 größere Sterne des Perseus, nämlich durch γ in der Schulter, α auf der Brust, δ im Gürtel und ε im Knie des Perseus.

Fuhrmann.

Wenn man auf der Geraden zwischen dem Polarsterne und α Kassiopeia ein gleichschenkliges Dreieck errichtet, so steht der dritte Scheitel dieses Dreiecks in α Fuhrmann oder in der Kapella (Ziege). Eine Gerade durch die Kapella und δ Perseus geht nach β in der Schulter des Fuhrmanns.

Stier.

Ein nahe gleichschenkliges Dreieck wird ebenfalls gebildet von den 3 Sternen ε Kassiopeia, Kapella und Aldebaran im Kopfe des Stiers. Die Gruppe von 5 Sternen, zu welchen Aldebaran gehört, hat die Gestalt eines V, und diese Gruppe heißt die Hyaden, in deren Nähe eine andere, kleinere, aber helle und gedrängte Gruppe, die Plejaden, dem ersten Blicke auffällt.

Widder und Fische.

Eine Gerade durch ε Kassiopeia und γ Andromeda geht verlängert durch α Widder und durch α Fische, so daß diese 4 Sterne die erwähnte Gerade nahe in 4 gleiche Teile teilen.

Walfisch.

α Widder, α Fische und α Walfisch bilden ein gleichseitiges Dreieck, und dasselbe gilt auch von den 3 Sternen: α Walfisch, α Widder und den Plejaden, so daß diese 4 Gestirne, die Plejaden, α Fische, α Widder und α Walfisch, eine ziemlich regelmäßige Raute darstellen.

Zwillinge.

Eine Gerade durch α und β Fuhrmann, dreimal verlängert, geht durch Kastor, und viermal verlängert, durch Pollux in den Zwillingen. Auch eine Gerade durch β und η im großen Bären geht nahe durch Kastor und Pollux.

Orion.

Aldebaran, Kastor und α Orion bilden nahe ein gleichschenkliges Dreieck, sowie diese 3 Sterne und Kapella ein nahezu regelmäßiges Viereck machen. Das Sternbild Orion, das schönste am Himmel, wird überhaupt leicht an den 2 Sternen α und γ an den Schultern, β und $\varkappa$ an den Füßen und an den 3 in gerader Linie und in gleichen Entfernungen stehenden Sternen δ, ε, ζ im Gürtel erkannt, welche letzteren den sogenannten Jakobsstab bilden.

Großer und kleiner Hund.

Die drei Sterne α Orion, Kastor und Prokyon im kleinen Hund bilden ein gleichschenkliges, und α Orion, Prokyon und Sirius im großen Hunde ein gleichseitiges Dreieck.

Großer Löwe, Hyder und Krebs.

Kastor, Prokyon und Regulus im Löwen bilden ein gleichschenkliges Dreieck; Kastor, Prokyon, Regulus und α Hyder ein regelmäßiges Parallelogram; in dem Durchschnitte seiner beiden Diagonalen steht α Krebs.

An dieses Viereck legt sich ein anderes, weniger regelmäßiges, das aus den 4 Sternen: Regulus, Denebola am Schweife des großen Löwen, Kastor und γ großer Bär zusammengesetzt ist.

Bootes, Jungfrau und Wage.

Die 2 so eben genannten Sterne Denebola und γ großer Bär bilden mit α Bootes oder Arktur ein gleichseitiges Dreieck, und die eine Seite dieses Dreiecks ist zugleich die einer sehr regelmäßigen Raute, die durch die vier Sterne: Denebola, Arktur, die Kornähre oder Spica und α Wage bezeichnet wird. Durch den letzgenannten Stern aber wird auch sogleich das kleine Quadrat erkannt, welches die 4 Sterne α, β, γ und ι der Wage unter sich bilden. — Eine Gerade durch Spica in der Jungfrau und durch Arktur im Bootes geht in die Mitte des kleinen Vierecks, welches die Sterne γ und δ auf der Brust und ε und ϱ im Gürtel des Bootes bilden.

Krone, Herkules und Ophiuchus.

Eine Gerade durch ε und ζ im Schweife des großen Bären geht durch die Krone, ein kleines, leicht zu erkennendes Bild, da es aus mehreren einander nahe stehenden Sternen besteht, die einen gegen den Polarstern offenen Kreisbogen bilden. Dieselbe Linie, etwas weiter verlängert, trifft den Kopf und Hals der Schlange des Ophiuchus, von welcher 4 Sterne: β, γ, $\varkappa$ und π den Kopf, und 3: δ, α und ε den Hals bilden.

Eine Gerade durch γ und ε großer Bär führt auf das Viereck ε, η, ζ, π um den Gürtel des Herkules, und die Diagonale durch η und ε dieses Vierecks auf α im Kopfe des Herkules, neben welchem man auch sofort den etwas größeren

Stern α im Kopfe des Ophiuchus und die kleineren Sterne β, γ auf dessen Schulter erblickt.

Leier, Schwan und Adler.

Eine Gerade durch γ und δ im großen Bären geht durch Wega in der Leier, sowie auch eine Linie durch die Mitte des Vierecks im großen Bären und durch den Drachenkopf auf Wega führt. Durch diesen letzten Stern erkennt man sofort ein sehr auffallendes, großes und gleichschenkliges Dreieck am Himmel, welches durch 3 Sterne erster Größe gebildet wird, nämlich durch Wega oder α Leier, Deneb oder α Schwan und Atair oder α Adler, von denen Wega der hellste, und Atair, im Scheitel des erwähnten Dreiecks, der am meisten von dem Pole entfernte Stern ist. Neben Wega sieht man leicht die 2 südlicheren Sterne β und γ der Leier, neben Deneb die 4 Sterne β, δ, ε und γ im Schwan, die mit ihm ein Kreuz bilden, und endlich zu beiden Seiten des Atair die beiden Begleiter β und γ desselben.

Pegasus, Delphin, Wassermann und Skorpion.

Eine Gerade durch Wega und Deneb geht durch die Mitte eines auffallenden Vierecks, welches durch die 3 Sterne α, β, γ des Pegasus und durch α Andromeda gebildet wird. Die Seite dieses Vierecks, die durch α Andromeda und β Pegasus geht, führt gegen Atair hin verlängert, auf das kleine schöne Sternbild des Delphins, das sich durch einen gedrängt stehenden Haufen von ziemlich großen Sternen kenntlich macht.

Die Diagonale des eben genannten Vierecks, die durch α Andromeda und α Pegasus geht, trifft verlängert den Stern α in der Schulter des Wassermanns.

Endlich kann noch die Gerade zwischen Wega und Arktur als die Basis eines größern gleichseitigen Dreiecks angesehen werden, dessen Scheitel von Antares oder α im Skorpion gebildet wird.

Andere Verbindungen der Sterne durch gerade Linien, durch Drei- oder Vierecke u. s. w. wird der bloße Anblick der Karten jedermann ohne Mühe geben.

§. 120. (Namen der Sterne.) Wir haben schon oft von ungewöhnlicheren oder besonderen Namen ganzer Sternbilder oder einzelner Sterne Gebrauch gemacht, und da wir dies auch im folgenden öfter zu thun Gelegenheit haben werden, wollen wir hier die vorzüglicheren dieser Bezeichnungen zusammenstellen, da sie doch hier und da noch vorkommen, wenn sie gleich größtenteils immer mehr aus dem Gebrauche sich verlieren. Ehe wir dies jedoch thun, wollen wir ein paar Bemerkungen allgemeinerer Natur über diese Namen vorausschicken.

So wie bereits im Altertume führen auch jetzt noch manche Sternbilder verschiedene Namen. So sind beispielsweise die 7 Hauptsterne des großen Bären im Volke fast bekannter als Wagen, während sie früher nach ihrer lateinischen Bezeichnung Septem Triones, wohl auch die sieben Zugochsen genannt wurden. Ebenso heißt Orion in manchen Gegenden der schreiende Hahn, u. s. w.

Ferner ist es nicht selten, daß einzelne kleinere, auffälligere Konstellationen eines Sternbildes eigene Namen erhielten. Beispiele hierfür bieten uns die Plejaden (Schiffergestirn), auch unter dem Namen Siebengestirn oder Gluckhenne bekannt; die Hyaden im Stier; die Krippe (Präsepe) mit den beiden Eseln (ε, γ und δ) im Krebs; die 3 Gürtelsterne (δ, ε und ζ) im Orion, welche als Jakobsstab oder heilige drei Könige bezeichnet werden; die Nuß, d. i. eine kleine Sterngruppe an der Spitze der Keule des Orion (bei χ Orion), u. s. w.

Außerdem wird der Hauptstern eines Sternbildes nicht selten nach der Lage, die er den gewöhnlichen Zeichnungen zufolge im Bilde einnimmt, genannt. So heißt Antares auch Skorpionsherz, Regulus: Löwenherz, Alfard (α Hyder): Herz der Wasserschlange, Aldebaran: Auge des Stiers, Fomalhaut: Fischmaul, Spica: Kornähre, Kapella: Ziege u. s. w., während man bei den in neuerer Zeit eingeführten Sternbildern, deren Hauptsterne die dritte bis vierte Größe selten übersteigen, gewöhnlich den hellsten dieser Sterne Leitstern oder Lucida zu nennen pflegt. Übrigens haben sich von den meisten hellen Sternen Namen aus verschiedenen Sprachen erhalten, gewöhnlich aus der griechischen oder lateinischen und der arabischen, welcher letzteren überhaupt der größte Teil der Eigennamen einzelner Sterne entnommen ist, wie man leicht aus deren Bau erkennt. So wird α Fuhrmann bald Kapella, bald Alhajoth, α kleiner Hund Prokyon und Elgomaisa, α Skorpion Antares und Vespertilio, α Stier Aldebaran und Palilicium u. s. w. genannt. Von α großer Hund, dem hellsten Fixsterne des Himmels, kommen außer den beiden gebräuchlichsten Sirius und Canicula noch 6 bis 8 Namen vor.

Achernar, α Eridanus.
Adara, ε großer Hund.
Alamak, γ Andromeda.
Albireo, β Schwan.
Aldebaran, α Stier.
Alderamin, α Cepheus.
Alfard (oder Alferat), α Hyder.
Algenib, γ Perseus und γ Pegasus.
Algieba, γ Löwe.
Algol, β Perseus.
Algorab, δ Rabe.
Alhajoth, α Fuhrmann.
Alhena, γ Zwillinge.
Alioth, ε großer Bär.
Alkor, g großer Bär.
Alkyone, η Plejaden.
Alrukaba, α kleiner Bär.
Alnilam, ε Orion.
Alnitak, ζ Orion.
Antares, α Skorpion.
Apus = Paradiesvogel.
Arkturus, α Bootes.
Arktophylax (Bärenhüter) = Bootes.
Aselli, δ und ε Krebs.
Asterion, nördl. Jagdhund.
Asterope I und II, k und l Plejaden.
Atair (oder Altair), α Adler.
Atlas, f Plejaden.
Azimech, α Jungfrau.

Bärenhüter = Bootes.
Baten Kaitos, ζ Walfisch.
Bellatrix, γ Orion.
Benetnasch, η großer Bär.

Beteigeuze, α Orion.
Böckchen, siehe Hädus.

Canicula, α großer Hund.
Capricorn = Steinbock.
Celäno, g Plejaden.
Chara, südl. Jagdhund.
Cor Caroli, α Jagdhunde.

Dabih, β Steinbock.
Deneb, α Schan.
Deneb Algedi, γ Steinbock.
Deneb Kaitos, β Walfisch.
Denebola (eig. Deneb-el-Asad), β Löwe.
Dubhe, α großer Bär.

Elakrab, β Skorpion.
Elektra, b Plejaden.
Elgomaisa, α kleiner Hund.
Elscheratain, β und γ Widder.
Engonasin (der knieende) Herkules.
Enif, ε Pegasus.
Esel, siehe Aselli.
Ettanin, γ Drache.

Fomalhaut, α südl. Fisch.

Gemma (oder Gnosia), α nördl. Krone.
Giedi, α_1 und α_2 Steinbock.
Giehna, ε Schwan.
Gluckhenne = Plejaden.
Gorgonenhaupt, β Perseus.

Hädus I und II, ζ und η Fuhrmann.
Hamal, α Widder.
Hyaden, α, ϑ, γ, δ, ε Stier.

Jakobsstab, δ, ε, ζ Orion.
Jed I und II, δ und ε Ophiuchus.
Jugula = Orion.

Kamelopard = Giraffe.
Kanopus, α Argo.
Kapella, α Fuhrmann.
Kastor, α Zwillinge.
Kynosura (Hundschwanz) = kl. Bär.
Kochab, β kleiner Bär.
Kornähre, α Jungfrau.
Kornephoros, β Herkules.
Krippe, ε Krebs.

Maja, c Plejaden.
Marfik (oder Mirfak), α Perseus.
Markab, α Pegasus.
Meduſenhaupt, β Perseus.
Megrez, δ großer Bär.
Menkalinam, β Fuhrmann.
Menkar, α Walfisch.
Merak, β großer Bär.
Merope, d Plejaden.
Mikar (oder Mirak), ε Bootes.
Mintaka, δ Orion.
Mira Ceti, o Walfisch.
Mirach, β Andromeda.
Mirzam, β großer Hund.
Mi'sam h und χ Perseus.
Mizar, ζ großer Bär.
Monoceros = Einhorn.
Mufrid, η Bootes.

Nath, β Stier.
Nekkar, β Bootes.
Nodus I und II, ζ und δ Drache.

Okda, α Fische.

Palilicium, α Stier.
Phekda, γ großer Bär.
Plejaden, η, c, d, q u. s. w. Stier.
Plejone (oder Plio), h Plejaden.
Polarstern, α kleiner Bär.
Pollux, β Zwillinge.

Präsepe, ε Krebs.
Prokyon, α kleiner Hund.

Ras Algethi, α Herkules.
Ras Alhague, α Ophiuchus.
Ras Elased, ε und μ Löwe.
Regengestirn = Hyaden.
Regulus, α Löwe.
Reiterlein, g großer Bär.
Rigel, β Orion.

Sa'd Elmelikh, α und o Wassermann.
Sa'd Elsu'ud, β und ξ Wassermann.
Sador, γ Schwan.
Scheat, β Pegasus.
Schedir, α Kassiopeia.
Schlangenträger = Ophiuchus.
Schwertfisch = Dorado.
Siebengestirn = Plejaden.
Sirius, α großer Hund.
Sirrah, α Andromeda.
Skat, δ Wassermann.
Spica, α Jungfrau.

Taygeta, e Plejaden (oder q Stier).
Tisch, das von α, β, γ Pegasus und α Andromeda gebildete Viereck.
Toliman, α Centaur.

Unk Elhaija, α Schlange.

Vespertilio, α Skorpion.
Vindemiatrix, ε Jungfrau.

Wächter, Polarstern und Kochab.
Wega, α Leier.

Xiphias = Dorado = Schwertfisch.

Zosma, δ Löwe.
Zuben Elakrab, γ Skorpion.
Zuben Elschenubi, α Wage.
Zuben Elschemali, β Wage.

Als Kuriosum sei schließlich erwähnt, daß die Namen Svalocin und Rotanev für α und β Delphin im Piazzi'schen Sternkatalog die umgekehrten Wörter: Nikolaus Venator sind und den Vornamen und den latinisierten Zunamen Cacciatore van Piazzi's Gehilfen bedeuten, was, wenn wir nicht irren, zuerst T. W. Webb erriet.

§ 121. (Tafeln der Präzession.) Alle Positionen von Sternen gelten, selbst wenn das Gestirn an sich unbeweglich ist, wie wir wissen, hauptsächlich wegen der Präzession der Nachtgleichen nur für eine gewisse Zeit (§ 50).

So sind z. B. unsere Planiglobe für das Jahr 1900 entworfen. Will man nun die Stellung der Sterne aus diesen Karten für eine andere Epoche finden, oder umgekehrt eine für eine andere Zeit gegebene Sternposition in diese Karten übertragen, so muß man jene Veränderung durch Präzession in Rechnung bringen, anderer Fälle, wo es von Interesse ist, diese Veränderung zu kennen, nicht zu erwähnen. Die folgenden Tafeln sollen unsere Leser in den Stand setzen, für den bei weitem größten Teil des Himmels, nämlich bis 80° nördlicher und südlicher Deklination, mit meistens hinreichender Genauigkeit die Präzession ohne große Mühe zu finden. Für die letzten 10° der Deklination läßt sich die nötige Rechnung nicht mehr auf gleich einfache Weise abkürzen.

Unserer Tafeln sind drei: die ersten zwei für die Rektascension, die dritte für

die Deklination. Sie geben durchaus die Präzession für 100 Jahre, woraus man also mit Leichtigkeit die Präzession auch für jede andere Periode finden kann. Für die ersten zwei Tafeln ist Rektascension und nördliche oder südliche Deklination, für die dritte Tafel Rektascension allein das Argument, d. h. diejenige Größe, mit der man in die Tafel eingehen muß, um die gesuchte Größe zu finden.

In den ersten zwei Tafeln hat man die so gefundene Größe mit ihrem Zeichen zu $1^0\,17'$ hinzuzulegen, um die 100jährige Präzession in Rektascension zu erhalten; die dritte Tafel giebt unmittelbar die 100jährige Präzession in Deklination, alles in Bogenminuten.*) Das Zeichen der Tafelgrößen aber ist bei den ersten zwei Tafeln für nördliche Deklination über, für südliche unter derjenigen Kolumne zu entnehmen, in welcher die betreffende Rektascension vorkommt; in der dritten Tafel sind obere und untere Zeichen gleich, und hat man in dieser Beziehung nur auf die Kolumne der Rektascension zu achten, in welcher das betreffende Argument überhaupt steht. Die so erhaltenen Präzessionen sind nach gehöriger Berücksichtigung des Verhältnisses der fraglichen Periode zu 100 Jahren mit ihrem oder mit entgegengesetztem Zeichen an die gegebene Rektascension und Deklination anzubringen, je nachdem die Epoche, auf welche man reduzieren will, nach oder vor der Zeit liegt, für welche beide Größen gegeben waren. Ein paar Beispiele werden die Sache vollends deutlich machen. Unser Buch giebt in der II. Abteilung mehrere Verzeichnisse merkwürdiger Objekte am Fixsternhimmel, deren Positionen sich auf 1900 beziehen. Wir wollen daher unsere Beispiele von dort herholen und Positionen von 1900 auf 1880 bringen und umgekehrt.

Ex. 1. Für den Ringnebel in der Leier hatte man 1880:

$$\text{AR} = 18^h\ 49^m\ 5^s = 282^0\ 16'\ \text{Dekl.} = +32^0\ 52'.$$

Aus Tafel I aber findet man für $\text{AR} = 280^0$ und nördliche Deklination $= 30^0$, die zu $1^0\,17'$ hinzuzulegende Größe $= -19'$, und man sieht zugleich, daß sich diese Größe bis $\text{AR} = 285^0$ nicht ändert, hingegen wird dieselbe in der Zeile $\text{AR} = 280^0$ von Dekl. $= 30^0$ bis Dekl. $= 35^0$ um $4'$ größer, nämlich $23'$ aus $19'$. Da nun unsere Deklination $32^0\,52'$ beträgt, so wird jene Tafelgröße für uns $-21'$. Dies zu $1^0\,17'$ hinzugelegt, giebt $+56'$ als 100jährige Präzession in Rektascension, also von 1880 auf 1900 20jährige Präzession in Rektascension $= +11'$.

Tafel III giebt für $\text{AR} = 280^0 \ldots +6'$, für $\text{AR} = 285^0 \ldots +9'$, also für unsere AR von $282^0\,16' \ldots +7'$ als 100jährige, daher 20jährige Präzession in Deklination $= +1'$.

*) Die zwei ersten Tafeln wurden in die hier gegebene, sehr kompendiöse Form gebracht, um Raum zu ersparen; jedermann, der ausgedehnteren Gebrauch von ihnen machen will, wird durch einmaliges Ausführen des hier noch nötigen Hinzulegens von $1^0\,17'$ ohne Schwierigkeit sich Tafeln herstellen können, welche auch die Präzession in Rektascension unmittelbar geben.

Wir haben somit als Position des Ringnebels in der Leier für 1900

$$\text{AR} = 282^0\ 27',\ \text{D} = +\ 32^0\ 53'$$

Ex. 2. Wollte man umgekehrt aus einer für 1900 geltenden Position die Stellung für 1880 finden und wählte man dazu den sehr lichten Nebel im großen Bären, dessen Stellung Abt. II für 1900

$$\text{AR} = 146^0\ 48',\ \text{D} = +\ 69^0\ 33'$$

angegeben ist, so findet man zuerst aus Tafel I, daß bei $\text{D} = 70^0$ die Tafelgröße für 5^0 AR um 7′ ab-, für 5^0 Deklination um 12′ zunimmt, somit, da sie für $\text{AR} = 145^0$ und nördliche $\text{D} = 65^0 \ldots + 41'$ beträgt, für unsere Position wegen der Rektascension um 1′ kleiner, wegen der Deklination aber um 11′ größer, zusammen also um 10′ größer wird, also + 51′ beträgt. Dies zu $1^0\ 17'$ gelegt, giebt $+\ 2^0\ 8'$ für die 100jährige oder + 26′ für die gesuchte 20jährige Präzession, welche, da hier von 1900 auf 1880 zurückgegangen wird, mit entgegengesetztem Zeichen an $146^0\ 48'$ angebracht, die Rektascension unseres Nebels für $1880 = 146^0\ 22'$ giebt. Für die Deklination aber hat man aus Tafel III . . . — 27′ als 100jährige, somit — 5′ als 20jährige Präzession, welche, wieder mit verkehrtem Zeichen an $+\ 69^0\ 33'$ angebracht, die gesuchte Deklination für $1880 = 69^0\ 38'$ finden läßt. Drückt man die oben gefundene Rektascension in Zeit aus, so ist die Position des Nebels im großen Bären für 1880

$$\text{AR} = 9^h\ 45^m\ 28^s,\ \text{D} = +\ 69^0\ 38'.$$

Ex. 3. Wollte man endlich für den schönen Sternhaufen im Wassermann, dessen Position für 1900

$$\text{AR} = 21^h\ 28^m\ 16^s = 322^0\ 4',\ \text{D} = -\ 1^0\ 16'$$

beträgt, die Stellung für 1850 ableiten, so hätte man vermöge Tafel I zu $1^0\ 17'$ hinzuzufügen + 1′, um als 100jährige Präzession in Rektascension $+\ 1^0\ 18'$, also als 50jährige + 39′ zu erhalten. Tafel III gäbe + 26′ als 100jährige, also + 13′ als 50jährige Präzession in Deklination, somit die gesuchten Größen für 1850, weil man zurückgehen muß:

$$\text{AR} = 321^0\ 25',\ \text{D} = -\ 1^0\ 29'.$$

Außer diesen Beispielen mögen die in § 51 gegebenen Anwendungen dieser Tafeln den Gebrauch derselben erläutern.

I. Hundertjährige Präzession in Rektascension $= 1^{0}\,17' \pm$.

Nördliche Deklination.

+ AR −		0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	+ AR −	
0°	180°	0′	0′	0′	0′	0′	0′	0′	0′	0′	0′	0′	0′	0′	0′	0′	180°	360°
5	185	0	0	1	1	1	1	2	2	2	3	4	4	5	6	8	175	355
10	190	0	1	1	1	2	2	3	4	4	5	7	8	10	12	16	170	350
15	195	0	1	2	2	3	4	5	6	7	9	10	12	15	19	24	165	345
20	200	0	1	2	3	4	5	7	8	10	12	14	16	20	25	31	160	340
25	205	0	1	2	4	5	6	8	10	12	14	17	20	24	30	39	155	335
30	210	0	1	3	4	6	8	10	12	14	17	20	24	29	36	46	150	330
35	215	0	2	3	5	7	9	11	14	16	19	23	27	33	41	53	145	325
40	220	0	2	4	6	8	10	12	15	18	21	25	31	37	46	59	140	320
45	225	0	2	4	6	9	11	14	17	20	24	28	34	41	51	65	135	315
50	230	0	2	5	7	9	12	16	18	21	26	30	37	44	55	70	130	310
55	235	0	2	5	7	10	13	16	19	23	28	33	39	47	59	75	125	305
60	240	0	3	5	8	11	13	17	20	24	29	35	41	50	62	80	120	300
65	245	0	3	5	8	11	14	17	21	25	30	36	43	52	65	83	115	295
70	250	0	3	6	8	11	15	18	22	26	31	37	45	54	67	86	110	290
75	255	0	3	6	9	12	15	19	23	27	32	38	46	56	69	89	105	285
80	260	0	3	6	9	12	15	19	23	28	33	39	47	57	71	90	100	280
85	265	0	3	6	9	12	16	19	23	28	33	40	48	58	72	91	95	275
90	270	0	3	6	9	12	16	19	23	28	33	40	48	58	72	92	90	270
− AR +		0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	− AR +	

Südliche Deklination.

II. Hundertjährige Präzession in Rektascension $= 1^{0}\,17' \pm$.

Nördliche Deklination.

+ AR −		70°	71°	72°	73°	74°	75°	76°	77°	78°	79°	80°	+ AR −	
0°	180°	0′	0′	0′	0′	0′	0′	0′	0′	0′	0′	0′	180°	360°
5	185	8	8	9	10	10	11	12	13	14	15	17	175	355
10	190	16	17	18	19	20	22	23	25	27	30	33	170	350
15	195	24	25	27	28	30	32	35	37	41	45	49	165	345
20	200	31	33	35	37	40	43	46	50	54	59	65	160	340
25	205	39	41	43	46	49	53	57	61	66	73	80	155	335
30	210	46	49	52	55	58	62	67	72	79	86	95	150	330
35	215	53	56	59	63	67	72	77	83	90	99	109	145	325
40	220	59	62	66	70	75	80	86	93	101	111	122	140	320
45	225	65	69	73	77	82	88	95	102	111	122	134	135	315
50	230	70	74	79	84	89	96	103	111	120	132	145	130	310
55	235	75	80	84	90	95	102	110	119	129	141	155	125	305
60	240	80	84	89	95	101	108	116	125	136	149	164	120	300
65	245	83	88	93	99	106	113	121	131	143	156	172	115	295
70	250	86	91	97	103	110	117	126	136	148	162	178	110	290
75	255	89	94	99	106	113	120	129	140	152	166	183	105	285
80	260	90	96	101	108	115	123	132	143	155	169	187	100	280
85	265	91	97	102	109	116	124	134	144	157	171	189	95	275
90	270	92	97	103	109	117	125	134	145	157	172	190	90	270
− AR +		70°	71°	72°	73°	74°	75°	76°	77°	78°	79°	80°	− AR +	

Südliche Deklination.

III. Hundertjährige Präzession in Deklination.

+ AR +		Präzession	— AR —	
360°	0°	33′	180°	180°
355	5	33	175	185
350	10	33	170	190
345	15	32	165	195
340	20	31	160	200
335	25	30	155	205
330	30	29	150	210
325	35	27	145	215
320	40	26	140	220
315	45	24	135	225
310	50	21	130	230
305	55	19	125	235
300	60	17	120	240
295	65	14	115	245
290	70	11	110	250
285	75	9	105	255
280	80	6	100	260
275	85	3	95	265
270	90	0	90	270
+ AR +		Präzession	— AR —	

Zweite Abteilung.

Beschreibende Astronomie

oder

Topographie des Himmels.

Kapitel I.

Die Sonne.

§ 1. (Masse, Größe und Dichte der Sonne.) Nachdem wir im Vorhergehenden die Erscheinungen, welche die Bewegungen der Körper unseres Sonnensystemes für uns hervorbringen, betrachtet haben, wollen wir nun zu der Erzählung desjenigen übergehen, was uns die Fernrohre über den Bau und die physische Beschaffenheit sowohl dieser Körper als auch, so viel es uns bisher gegönnt ist, der außer unserem Planetensysteme befindlichen Gestirne kennen gelehrt haben.

Wir beginnen unsere Wanderungen durch die Planetenwelt mit dem bei weitem wichtigsten, mit dem Zentralkörper derselben, mit der Sonne, der alle übrigen Körper unseres Systemes Licht und Wärme, damit aber Wohlthaten ohne Zahl verdanken, daher sie auch von mehreren Völkern der Vorzeit als das würdigste Bild der Gottheit, ja als die Gottheit selbst verehrt wurde, wie denn Osiris in Ägypten, Baal in Chaldäa, Adonis in Phönizien, Mithra in Persien und selbst Apollo in Griechenland nur eben so viele Embleme der Gottheit waren, welche jene Völker unter dem Sinnbilde des ewigen Feuers in ihren Tempeln anbeteten. Wenn die Sonne aber durch diese Wohlthaten die Ehrfurcht der Menschen an sich gebunden, so ist es eine ganz andere Eigenschaft, durch welche sie sich die Herrschaft über die ihr unterworfenen Planeten und Kometen erworben hat. Diese Herrschaft verdankt sie sich selbst, ihrer eigenen Kraft, d. h. ihrer Masse, die 323 000mal größer als die Masse der Erde und selbst noch über 700mal größer ist als die aller übrigen Körper des ganzen Planetensystemes zusammengenommen. Wir werden weiter unten sehen, daß diese

Masse es eigentlich ist, wodurch die Sonne alle Planeten an sich fesselt und sie zwingt, die ihnen angewiesenen Bahnen in schweigendem Gehorsame zu beschreiben.

Auch an Größe, an körperlichem Umfange kann kein Planet mit der Sonne verglichen werden. Der Durchmesser der Sonnenkugel beträgt 1 386 700 km (I., § 43), also ihre Oberfläche 6 Billionen Quadratkilometer, und ihr Volumen 14 Trillionen Kubikkilometer. Allein diese Zahlen sind zu groß, um uns einen Begriff von dem wahren Umfange der Sonne zu geben. Suchen wir uns also durch Vergleichung mit andern Körpern die Sache gleichsam zu versinnlichen.

Noch lange keiner der kleinsten unserer Planeten ist Vesta. Ihr Durchmesser beträgt, nach Barnards Messungen, 386 km. Der Sonnendurchmesser ist also 3590mal größer als jener der Vesta, somit der körperliche Inhalt oder das Volumen der Sonne 46 400 Millionen mal größer als das Volumen der Vesta, oder aus der Sonne lassen sich 46 400 Millionen der Vesta gleich große Kugeln machen. Solcher Kugeln aber wie unsere Erde würde man über 1 280 000 zusammenlegen müssen, um endlich einen Körper, der Sonne an Volumen gleich, zu erhalten. Ja selbst alle Planetenkugeln zusammengefügt, würden noch nicht den 560sten Teil der Sonnenkugel an Raum einnehmen. — Zu einer sogenannten Reise um die Welt, d. h. den Umkreis der Erde zurückzulegen, würde ein Wanderer, der täglich 70 km macht, 570 Tage, zu einer Reise um die Sonne aber 62 200 Tage oder mehr als 170 Jahre brauchen. — Da aber auch diese Zahlen noch immer zu groß sind, uns eine Vorstellung von der wahrhaft ungeheueren Ausdehnung des Sonnenkörpers zu geben, wollen wir uns denselben um seinen Mittelpunkt so weit ausgehöhlt denken, daß die Erde in diesem Mittelpunkte stehen und um sie der Mond in seiner Entfernung von 384 000 km sich frei in dieser Höhle bewegen könnte. Da würde nun noch ein nicht ausgehöhlter Rand der Sonne, eine Kugelschale übrig bleiben, deren Dicke nahe eben so groß ist als der Halbmesser jener Höhle!

Wenn aber die Sonne an Größe und Masse alle anderen Planeten weit überwiegt, so steht sie an Dichtigkeit ihrer Masse einem Teile derselben weit nach. Der Stoff, aus dem dieser große Körper gewoben ist, ist viermal lockerer als der Stoff der Erde. Die Leser werden fragen, woher wir dies wissen und wer die Materie der Sonne in dieser Beziehung untersucht hat. — Allein das hätten sie besser schon oben, wo wir von der Masse der Sonne gesprochen haben, fragen können. Wenn man einmal die Masse und das Volumen eines Körpers kennt, so ist es sehr leicht, auch die Dichtigkeit desselben zu finden, da diese immer gleich der Masse dividiert durch das Volumen des Körpers ist. Es wurde oben gesagt, daß die Masse der Sonne 323 000 und das Volumen derselben 1 280 000mal größer ist als das der Erde. Wenn man nun die erste dieser beiden Zahlen durch die zweite dividiert, so erhält man $^1/_4$, daher die Dichtigkeit der Sonne nur den vierten Teil der Dichtigkeit der Erde betragen kann. Wie man aber zu jener Kenntnis der Masse der Sonne gelangen kann, werden wir

in der nächstfolgenden Abteilung dieses Werkes sehen, wie wir denn überhaupt hier noch gar manches, von dem wir erst in der Folge eine, wie wir hoffen, völlig genügende Rechenschaft geben können, dem guten Glauben und dem Vertrauen der Leser zu unserer Redlichkeit überlassen müssen, wenn es ihnen auch immerhin etwas auffallend dünken mag, daß man die Gestirne des Himmels wie auf einer Wage abgewogen habe.

Übrigens muß bemerkt werden, daß die oben erwähnte Dichtigkeit der Sonnenmasse nur die mittlere Dichtigkeit derselben ist, oder daß bloß, wenn die Sonne in allen ihren Teilen eine durchaus homogene Masse hätte, die Dichtigkeit derselben dem vierten Teile der mittleren Dichtigkeit unserer Erde gleich, also nahe so groß wie die des Pechs oder der Steinkohle sein würde. Allein die Voraussetzung einer überall gleich dichten Masse der Sonne ist äußerst unwahrscheinlich, und wir werden später sehen, daß die Dichte dieses Himmelskörpers, wie die der Erde, wahrscheinlich mit der Nähe zu seinem Mittelpunkte immer zunimmt.

§ 2. (Fall der Körper auf der Oberfläche der Sonne.) Die Astronomen haben aber nicht bloß die Masse der Sonne abgewogen und die Dichtigkeit des Stoffes, aus dem sie besteht, bestimmt, sondern sind sogar dahin gekommen, zu erfahren, wie tief ein Stein oder sonst irgend ein schwerer Körper in der ersten Sekunde fällt, wenn er auf der Oberfläche der Sonne seiner Unterstützung beraubt und sich selbst überlassen wird. Auf unserer Erde beträgt dieser Fall der Körper in der ersten Sekunde bekanntlich beinahe 5 m, wie bereits tausende von Beobachtungen gezeigt haben, und wie jeder, wenn er will, selbst versuchen kann. Auf der Sonne aber haben wir allerdings keine solchen Beobachtungen anstellen können; allein wir wissen dessen ungeachtet nicht weniger gewiß, daß dieser Fall der Körper dort 136 m beträgt, und daß daher die Körper auf der Sonne in der ersten Sekunde etwa 28mal tiefer fallen als auf der Erde. Infolgedessen würde auch ein Körper, der bei uns z. B. 1 kg wiegt, dort 28 kg wiegen. Dieses Experiment dürfte aber, selbst wenn wir zur Sonne gelangen könnten, nicht mit unseren gewöhnlichen Wagen angestellt werden, da das Gewicht in der anderen Schale der Wage ebenfalls ein Körper und daher ebenfalls 28mal schwerer auf der Sonne sein würde als auf der Erde. Aber eine andere Maschine, z. B. eine elastische Feder, die den Druck der auf ihr liegenden Körper angäbe, würde hier schon bessere Dienste leisten, da der vorhergehende Ausdruck eigentlich nur sagen will, daß der Druck eines jeden Körpers auf seine Unterlage an der Oberfläche der Sonne 28mal größer ist als an der Oberfläche der Erde.

Es würde ohne Zweifel sehr interessant sein, auch die physische Beschaffenheit dieses Zentralkörpers unseres Planetensystemes sowie die seiner Oberfläche näher zu kennen. Allein die Sonne ist zu Untersuchungen dieser Art, selbst für unsere besten Fernrohre, zu weit entfernt, als daß wir auf große Erfolge rechnen könnten. Nach genauen Untersuchungen beträgt die Horizontalparallaxe (I., § 41) derselben

für die Bewohner unseres Äquator nur 8·85″, woraus die mittlere Entfernung derselben von der Erde gleich 148 600 000 km abgeleitet wird, eine Distanz, welche eine Kanonenkugel, wenn sie auch in jeder Sekunde 500 m durchlaufen würde, erst in 10 Jahren zurücklegen könnte. Welche Aussichten haben wir unter solchen Verhältnissen auf große Entdeckungen über die Oberfläche der Sonne, wir, die wir selbst die Oberfläche unserer Erde noch immer so wenig kennen!

Dessen ungeachtet werden wir durch die Wichtigkeit dieses größten aller Himmelskörper, die wir näher kennen, und noch mehr vielleicht durch die Wohlthaten, die wir ihm täglich und stündlich verdanken, gleichsam aufgefordert, ihn wenigstens so weit, als es unsere beschränkten Kräfte erlauben, zu untersuchen. Unter diesen Wohlthaten haben wir bereits oben als die zwei vorzüglichsten Licht und Wärme genannt, weshalb es nicht unangemessen sein wird, vorerst bei jedem dieser wahrhaft himmlischen Geschenke etwas länger zu verweilen.

§ 3. (Emanations- und Vibrations-Hypothese.) Noch in den ersten Decennien unseres Jahrhunderts ließ man die leuchtenden und wärmenden Körper Partikelchen von ungemeiner Feinheit mit großer Geschwindigkeit aussenden und diese durch den Stoß beim Anprallen auf die Nerven einen Reiz ausüben, dessen Empfindung wir als Licht und Wärme bezeichnen. Die abgestoßenen Teilchen mußte man aber, da das Gewicht eines Körpers durch das Leuchten und Wärmen nie abnahm, entweder dem Gesetze der allgemeinen Schwere nicht unterworfen annehmen oder sie so fein sein lassen, daß ihr Gewicht jeder Wägung sich entziehen könne, weshalb man sie mit den Fluiden, die Elektrizität und Magnetismus bilden und ebenfalls gewichtlos sein sollten, unter dem allgemeinem Namen Imponderabilien umfaßte.

Die Theorie dieser Imponderabilien auf das Licht angewendet, nannte man Emanationstheorie und stellte sich nach derselben vor, daß die leuchtenden Körper geradlinig nach allen Richtungen Teilchen abstoßen, von denen die einen sogenannten Lichtstrahl zusammensetzenden, nämlich die in derselben geraden Linie hintereinander fliegenden Partikelchen, wenn sie die Retina treffen, auf dieselbe einen Stoß ausüben, der jenes Gefühl erzeugt, das wir Licht nennen. Unter dieser Voraussetzung und der Annahme, daß die Lichtteilchen von den Körperteilen angezogen werden, bot die Erklärung der Reflexion und Brechung des Lichtes keine Schwierigkeiten; allein um die schönen Farben, in welchen dünne Körper, etwa fein gespaltene Glimmerplättchen oder Seifenblasen prangen, erklären zu können, mußte man bereits zu einer weiteren Hypothese, den sogenannten Anwandlungen seine Zuflucht nehmen, d. h. die Lichtteilchen in periodisch wechselnden Zuständen sich befinden lassen, mit welchen in gleichem Maße Dispositionen zur Reflexion oder Transmission wechseln. Aber auch damit reichte man nicht lange aus. Die Entdeckung der Polarisation zwang dazu, die früher als kugelförmig angenommenen Lichtkörperchen in längliche zu verwandeln, damit sie, je nach der Lage, in der sie einen Körper treffen, entweder leichter in ihn eindringen oder

an ihm abprallen konnten, und außerdem hinzuzufügen, daß die dem Lichte die Eigenschaft der Polarisation mitteilenden Körper die Fähigkeit besitzen, die in einem Lichtstrahle in allen möglichen Lagen sich befindenden Lichtkörperchen gewissermaßen zu ordnen, nämlich sämtlich in eine und dieselbe Lage zu richten. Jedoch auch dies genügte bald nicht mehr; man mußte beginnen, auch den Lichtteilchen gewisse Eigenschaften zu vindizieren, und zwar zunächst polare, nach denen sich die Enden derselben in einer Art Gegensatz befinden sollten, etwa wie die Pole eines Magneten, woher auch der Name Polarisation stammt. In ähnlicher Weise machte die Beugung, Interferenz, Doppelbrechung u. s. w., kurz jede neue Entdeckung über die Eigenschaften des Lichtes eine Vermehrung der Eigenschaften jener materiellen Teilchen notwendig.

Dieser Umstand veranlaßte am Anfange unseres Jahrhunderts zwei ausgezeichnete Physiker, Young in England und Fresnel in Frankreich, die Emanationstheorie ganz zu verwerfen und zur Vibrations- oder Undulationstheorie zurückzukehren. Diese Theorie, welche ihrer Idee nach bereits von Descartes herrührt, wurde zu derselben Zeit von Huyghens ausführlich begründet, zu der Newton die Emanationshypothese sich ausdachte, konnte aber wegen des hohen Ansehens, in welchem der berühmte Gründer der letzteren stand, lange keine Wurzel fassen, obwohl bereits Euler durch höchst scharfsinnige Bemerkungen das Ungenügende der Emanationstheorie bewiesen und die Vorteile der Undulationstheorie in helles Licht gesetzt hatte. In der Vibrationshypothese wird Licht nach der jetzt am meisten gang und geben Ansicht durch die Schwingungen eines im ganzen Weltraume verbreiteten, alles Materielle durchdringenden, äußerst feinen elastischen Stoffes, Äther genannt, hervorgerufen, und es kommen die Ätherschwingungen, welche das Auge treffen, auf dieselbe Weise als Licht zum Bewußtsein, wie die ins Ohr dringenden Luftschwingungen als Schall empfunden werden. Und wie die Differenz der Töne in der größeren oder kleineren Anzahl der Luftschwingungen während einer gewissen Zeit besteht, ebenso besteht auch die Differenz der Farben in der größeren oder kleineren Anzahl von Ätherschwingungen, die in einer gewissen Zeit erfolgen. Mittels dieser Hypothese kann man, seitdem eine Reihe berühmter Mathematiker, wie Cauchy, Poisson, Green u. s. w., im Geiste der oben erwähnten Begründer und Vervollkommner dieser Lehre weiter arbeitend, die Kraft der Analysis auf dieselbe angewendet haben, nicht nur alle Erscheinungen ohne weitere Annahme vollkommen erklären, sondern man hat auch mit dieser Hypothese bereits mehrmals den größten Triumph jeder Theorie gefeiert, und Erscheinungen vorausgesagt, die erst auf diese Anregung hin gesucht und gefunden wurden. Übrigens ist es in unserer Zeit auch gelungen, experimentell nachzuweisen, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes in dichteren Medien geringer sei als in dünneren, und dadurch einen direkten Beweis für die Undulationshypothese zu liefern, da in der Emanationshypothese das Umgekehrte stattfinden müßte.

Nachdem es so gelungen war, eines der Imponderabilien aus der Physik zu verbannen, fing man an, auch gegen die übrigen behutsamer zu werden, als man den Folgerungen nachging, zu denen einige alltägliche, vielleicht deshalb nicht beachtete Thatsachen führen. Reibt man z. B. zwei Körper gegeneinander, so erwärmen sich dieselben, was man, wenn man die Wärme als einen dem Körper inhärierenden imponderablen Stoff, den Wärmestoff betrachtet, so auffassen kann, als ob die Reibung dem Körper seinen Wärmestoff entlocke oder, wie man sagte, frei mache. Ist diese Erklärung richtig, so sollte man meinen, bei fortgesetzter Reibung werde die Erwärmung sich allmählich vermindern und endlich ganz aufhören, da nach und nach immer weniger Wärmestoff im Körper zurückbleibt. Allein die Erfahrung bestätigt keineswegs diese Schlußfolgerung, sondern zeigt im Gegenteile, daß, man mag die Reibung fortsetzen, so lange man will, unter gleichen Umständen stets dieselbe Wärmemenge sich entwickelt.

Über diese sonderbare Erscheinung ging man früher ebenso leicht hinweg wie über viele andere nicht minder auffallende, so z. B. über jene, daß eine auf irgend einer Fläche in Bewegung gesetzte Kugel nach und nach ihre Geschwindigkeit verringert und endlich ganz zur Ruhe gelangt. Man sagte ohne weitere Überlegung ganz einfach: „Dies ist ja natürlich; die Reibung vernichtet nach und nach die bewegende Kraft", und gab sich damit zufrieden, ohne die Frage aufzuwerfen, ob dies auch möglich sei. Denn der Umstand, daß die Kugel sich nach und nach erwärmt, und zwar desto mehr, je größer die ursprünglich mitgeteilte Bewegung war, hätte ein hinreichender Fingerzeig sein sollen, daß die mitgeteilte, die Bewegung verursachende Kraft nicht so spurlos verschwunden sei, als man zu glauben geneigt war. Als man in neuerer Zeit näher auf diesen Umstand einging, bildete sich nach und nach die Ansicht aus, die scheinbar in Verlust geratene Kraft sei nicht verschwunden, sondern habe sich in Wärme umgesetzt, woraus aber notwendig folgte, daß die letztere kein Stoff, sondern nur eine andere Form sei, in der sich Bewegung unseren Sinnen darstellt.

Durch diese und ähnliche Betrachtungen geleitet, verbannte man die Imponderabilien nach und nach ganz aus der Physik, indem man alle Erscheinungen, denen man sie früher zu Grunde gelegt, auf Bewegungen zurückführte, und zwar speziell Licht und strahlende Wärme, die uns hier am meisten interessieren, auf Transversalschwingungen des alles Körperliche durchdringenden Äthers, oder, wie eine andere sich immer mehr bahnbrechende Ansicht lautet, der kleinsten Teilchen der Körper selbst. Dadurch wurden hauptsächlich zwei Erscheinungen: Interferenz und Polarisation, die jedes Erklärungsversuches mittelst Imponderabilien gespottet hatten, leicht verständlich. Es ist nämlich klar, daß, wofern man sich nicht in allzukühne Hypothesen einläßt, Licht- oder Wärmematerie nicht als sich selbst vernichtend angenommen werden kann: wohl aber ist es denkbar, ja ganz natürlich, daß einander entgegengesetzte Schwingungen, also Bewegungen, sich gegenseitig aufheben.

§ 4. (Erhaltung der Kraft.) Die Verbannung der Imponderabilien aus der Physik gab in seiner Rückwirkung Anlaß zur Ausbildung eines neuen Prinzipes: dem der Erhaltung der Kraft, oder nach neuerer von Rankine eingeführten Bezeichnungsweise, dem der Erhaltung der Energie, dessen erste Keime sich schon bei J. Bacon (1620) finden, dessen weitere Ausführung von Descartes, Rumford, Young u. a. versucht wurde, ohne eigentlich Wurzel zu schlagen, bis dasselbe (1842) in Deutschland hauptsächlich auf Anregung von J. R. Mayer in Heilbronn durchschlug, und endlich (1843) von Joule in Manchester experimentell nachgewiesen wurde. Wir wollen hier die erste Entwickelung dieser neuen Lehre kurz andeuten, ohne auf die jüngsten Stadien derselben näher einzugehen.

Bereits seit längerer Zeit betrachtete man es, besonders nach Lavoisier, als feststehende Thatsache, daß durch keinen, wie immer gearteten Vorgang von dem im Weltraume verbreiteten Stoffe irgend etwas vernichtet oder neue Materie gebildet werden könne. Allein mit dem im Weltraume vorhandenen Agens, das sich durch Bewegung manifestiert und durch die Größe derselben oder durch die geleistete Arbeit gemessen wird, nämlich mit der Kraft, nahm man es nicht so genau. Man setzte voraus, Kraft könne durch eine Reihe von Prozessen entstehen und durch andere Prozesse wieder ebenso spurlos vernichtet werden. Dieser Anschauungsweise tritt nun die neuere Physik entgegen, indem sie von dem Grundsatze ausgeht, bei der Entstehung der Materie sei dieser eine Summe von Kräften mitgegeben, die in ihrer Gesamtheit nicht minder unveränderlich und unzerstörbar ist als der Träger derselben, die Materie. Allein so wie die Materie gewissen Metamorphosen unterliegt, welche die Erscheinung derselben, nicht aber ihre Wesenheit umgestalten, so ist dies in gleicher Weise mit der Kraft der Fall. Wie z. B. durch chemische Prozesse Sauerstoff und Wasserstoff zu einem Körper, Wasser genannt, sich zusammensetzen können, der dem äußeren Anscheine nach nicht die geringste Ähnlichkeit mit einem der beiden ihn konstituierenden Elemente besitzt, obwohl von keinem derselben auch nur ein Atom in Verlust geraten, so kann man auch auf verschiedene Arten die Erscheinungsform der Kraft umgestalten, z. B. durch Reibung die progressive Bewegung des Körpers in eine undulierende der kleinsten Teilchen, nämlich Wärme, umändern, ohne daß dabei irgend ein Verlust an Kraft eintritt. Und so wie es bei der Materie durch geeignete Mittel gelingt, die ursprüngliche Erscheinungsform wiederherzustellen, nämlich, um das frühere Beispiel fortzuführen, Wasser abermals in seine Elemente, Wasserstoff und Sauerstoff, zu zerlegen, ebenso kann man dies auch bei der Kraft bewirken; man kann die Wärme z. B. durch eine Dampfmaschine wieder in progressive Bewegung umsetzen.

Nun zeigten genaue Untersuchungen, daß eine gewisse Wärmemenge, welche zur Erzeugung von Bewegung benützt wurde, genau wiederzuerhalten sei, wenn n die Bewegung durch geeignete Mittel, z. B. durch Reibung, wieder in

Wärme umsetzt. Es verhält sich hiermit wie mit den Gegenständen unseres Handels; Goldstücke und ein Edelstein sind scheinbar sehr verschiedene Dinge, und doch kann man eines gegen das andere austauschen und wieder zurücktauschen. Was nun in der Handelswelt der Geldwert ist, das wird in der mechanischen Theorie der Wärme lebendige Kraft oder kinetische Energie genannt. Dieselbe kann unter den mannigfaltigsten Gestalten auftreten, gerade so wie sich ein Geldwert in Silber, Gold oder Edelsteinen darstellen läßt. Und wie sich das Verhältnis des Wertes z. B. eines Diamanten zu dem des Silbers ausdrücken läßt, so läßt sich auch angeben, wie viel bewegende Kraft man erhält, wenn man eine bestimmte Menge Wärme in solche umsetzen will. Man hat so gefunden, daß eine Wärmeeinheit, d. i. eine Wärmemenge, welche die Temperatur von 1 kg Wasser um 1^0 C. erhöht, in bewegende Kraft umgesetzt 429 kg Met., d. h. eine Kraft giebt, die 429 kg in 1^s, 1 m hoch hebt. Diese Zahl, gleichsam der Preis der Wärme im Münzfuße der bewegenden Kraft, nennt man deshalb das Arbeits-Äquivalent der Wärme.

In der Wirklichkeit läßt sich jedoch dieser Umtausch nicht so ziffermäßig richtig bewerkstelligen; man wird immer mit gewissen scheinbaren Verlusten zu thun haben. Es ist auch hierin wie beim Kaufen und Verkaufen einer Sache; wenn uns z. B. die Erwerbung eines Edelsteines reut und wir denselben wieder verkaufen wollen, so wird der Juwelier uns keineswegs die Summe auszahlen, die wir ihm für den Edelstein einhändigten, sondern weniger. Was hier die Prozente sind, deren Verlust wir uns bei jedem Kauf oder Verkauf gefallen lassen müssen, das sind bei dem Umtausche von bewegender Kraft in Wärme, oder umgekehrt, Reibung und andere scheinbare Verluste; aber das Prinzip der Erhaltung der lebendigen Kraft wird dadurch nicht umgestoßen, denn weder jene Prozente noch der beim Reiben in Wärme sich umsetzende Teil der Kraft sind für die Gesamtheit verloren; nur für uns oder für den Zweck, den wir gerade im Auge haben, sind sie im Augenblicke verschwunden.

Bewegung und Wärme sind aber keineswegs die einzigen Formen, welche die lebendige Kraft annehmen kann. Eine andere ist z. B. chemische Verwandtschaft. Wir verstehen darunter das Bestreben zweier Körper, sich mit einander zu verbinden. Im Augenblicke der Verbindung entsteht immer eine gewisse Quantität Wärme. Kohle z. B. verbrennt mit dem Sauerstoff der Luft, wie wir wissen, bei bedeutender Wärmeentwickelung zu Kohlensäure. Sauerstoff und Kohlenstoff, überhaupt zwei Körper, die sich mit einander zu verbinden fähig sind, getrennt, repräsentieren also ein gewisses Kapital lebendiger Kraft in der Form chemischer Anziehung, die leicht in die Form der Wärme umzusetzen ist. Läßt man die Kohle mit dem Sauerstoff verbrennen, so giebt man das Kapital aus; allein man erhält eine Wärmemenge dafür, die ebenso viel wert ist wie jenes Kapital, für die man daher jenes Kapital jeden Augenblick durch geeignete Mittel wieder eintauschen kann.

Dies gilt aber nicht nur von solchen chemischen Verwandtschaften, die sich mit Flamme offenbaren; in unserem Körper geht fortwährend ein ähnlicher Prozeß vor sich. Alle unsere Nahrungsmittel sind verbrennbar, d. h. sie sind fähig, sich noch mit Sauerstoff zu verbinden, wenn man sie auch wegen der Feuchtigkeit, die sie enthalten, nicht direkt anzünden kann. Wir atmen den Sauerstoff der Luft ein; in den Lungen kommt er mit den aus den Nahrungsmitteln gewonnenen Säften, die noch freien, d. h. noch nicht mit Sauerstoff verbundenen Kohlenstoff enthalten, zusammen; diese verbinden sich mit dem eingeatmeten Sauerstoff, d. h. sie verbrennen mit demselben zu Kohlensäure, die ausgeatmet wird; bei dieser Verbrennung entsteht aber fortwährend Wärme, und diese ist es, die dem tierischen Körper Ersatz leistet für die Wärme, die er immerfort an seine Umgebung verliert. Daher ist es begreiflich, daß der Neger sich mit einer Hand voll Reis als tägliche Nahrung begnügt; er giebt wenig Wärme an seine Umgebung ab, braucht also deren nicht viel zu entwickeln. Der Bewohner kalter Zonen entschädigt sich für die große Menge Wärme, die ihm seine eisige Umgebung entzieht, durch den Genuß des kohlenstoffreichen Thranes, und die Vorliebe nordischer Völker zu den an brennbaren Bestandteilen so reichen geistigen Getränken hat nicht etwa darin ihren Grund, daß diese ihnen zufällig munden, — sie sind ihnen Lebensbedürfnis.

Wenn nun bei jeder chemischen Vereinigung Wärme frei wird, was geschieht denn, wenn man die entstandene Verbindung wieder zu zerlegen, das Brennmaterial wiederherzustellen versucht? Bei der Verbrennung tauschte man chemische Kraft gegen Wärme um; soll jetzt der Tausch rückgängig gemacht werden, so muß man offenbar auf die bei der Verbrennung erhaltene oder eine dieser gleiche Wärmemenge Verzicht leisten. Diese, welche ja nur eine Form der lebendigen Kraft ist, wird dann dazu verwandt, die Kraft, mit welcher sich z. B. in obigem Falle Sauerstoff und Kohlenstoff in der Kohlensäure einander festhalten, zu überwinden und diese zwei Stoffe wieder zu trennen; sie verschwindet dabei für den Augenblick, wird aber wieder erhalten, sobald man die getrennten Bestandteile sich wieder verbinden läßt.

Kehren wir jetzt zum Haushalte der organischen Welt zurück und wenden wir das eben Gesagte auf denselben an. Wenn das Produkt der im tierischen Körper vor sich gehenden Verbrennung, die Kohlensäure, nicht irgendwie wieder zerlegt würde, müßte wohl bald der Zeitpunkt erscheinen, wo alles Verbrennbare aufgezehrt, alles tierische Leben unmöglich gemacht würde. Dem hat aber die Natur vorgebaut. Sie ordnete den Kreislauf des Stoffes so an, daß, indem sie den Akt der Verbrennung dem Tiere zur Erhaltung seiner Lebensthätigkeit zuwies, der Pflanze das Amt der Zerlegung des Verbrennungsproduktes, der Regeneration des Brennstoffes übertragen wurde, wie sich durch einen einfachen Versuch direkt nachweisen läßt. Wenn man unter eine luftdicht abgesperrte und mit etwas Kohlensäure erfüllte Glasglocke eine lebende Pflanze bringt und die

Sonnenstrahlen auf dieselbe fallen läßt, so findet man nach einiger Zeit unter der Glocke keine Kohlensäure mehr; dieselbe wurde dort zerlegt, und nur einer ihrer Bestandteile, der gasförmige Sauerstoff, findet sich unter der Glocke vor; den Kohlenstoff hat die Pflanze in sich aufgenommen und zur Weiterbildung ihres Holzes und ihrer Blätter verwendet. Aber die Wärmemenge, die nach Obigem zur Trennung der Kohlensäure in Sauerstoff und Kohlenstoff notwendig ist, die bei diesem Prozesse gebunden wird, hat die Pflanze nicht etwa selbst erzeugt; der Umstand, daß das angeführte Experiment nur im Sonnenlichte gelingt, weist klar darauf hin, daß die Sonne die erforderliche Wärmemenge geliefert hat; die Pflanze hat nur die Licht- und Wärmestrahlen der Sonne in den Wärmevorrat umgesetzt, den die nun getrennten Bestandteile der Kohlensäure repräsentieren.

Wir erkennen hier eine jener wunderbaren Einrichtungen, durch welche die Natur trotz aller scheinbaren Veränderungen sich in ewiger Jugend erhält. Das Tier verwendet die Produkte des Pflanzenreiches zu seiner Nahrung und verbraucht die durch deren Verbrennung entstehende Wärme; die Pflanze ist die Werkstätte, in der die Produkte jener Verbrennung wieder zerlegt und abermals der Verbrennung fähig gemacht werden.

Die Pflanze erscheint sonach nur als Vermittlerin zwischen dem Tiere und der belebenden Kraft der Sonne, der wir unser Dasein und unsere Lebenskraft in letzter Instanz verdanken. Aber nicht nur wir lebende Wesen sind von ihr abhängig; die ganze Natur würde in dumpfe Ruhe versinken, wenn diese Quelle lebendiger Kraft nicht unaufhörlich sie belebte. Beinahe für alles, was auf der Erde Bewegung, Veränderung verursacht, ist nur sie der letzte Grund. Seit Jahrtausenden fließen die Bäche von den Bergen und eilen in Strömen dem Ocean zu; die Sonnenwärme verwandelt sie dort in Dunst und erteilt ihnen dadurch die Fähigkeit, sich wieder in die Wolken zu erheben, um ihren Lauf von neuem zu beginnen. Der wütende Orkan wie der sanfte Zephyr werden veranlaßt durch die Temperatur-Unterschiede, welche die wärmende Kraft der Sonne hervorruft. Der Müller wie der Schiffer zehren von ihren Wohlthaten, und wenn wir jetzt mit Hilfe des Dampfes die Welt durchfliegen, geschieht dies mit der Kraft, welche die Sonne vor Jahrtausenden in den Steinkohlen angehäuft, die wir in Wärme und hierauf in Bewegung umsetzen. Sogar der elektrische Funke, der neben uns hinfliegend der Ausdehnung des Raumes zu spotten scheint, rührt von ihr; denn Elektrizität ist eben auch nur eine Form der lebendigen Kraft, und bei ihrer Erzeugung geht in der galvanischen Batterie eine Verbrennung vor sich, deren Material wieder von der Sonnenwärme geliefert wird.

So hat die Fülle lebendiger Kraft, die in den mannigfaltigsten Formen über unsere Erde dahinzieht, immer in der Sonne ihren Ursprung; sie allein ist die Quelle alles Lebens nicht nur auf der Erde, sondern in unserem ganzen Planetensysteme. Und doch kann auch sie nach dem Prinzipe der Erhaltung der

lebendigen Kraft nicht aus sich allein fortwährend Licht und Wärme spenden. Die geheimnisvollen Fäden, welche die Sonne an andere Systeme knüpfen, die Wege, die ihre Strahlen gehen, nachdem sie durch die verschiedenartigsten Verwandlungen auf der Erde oder andern Planeten den Zwecken lebender Wesen gedient, die Räume, in die sie zurückströmen, um mit erneuter Wirksamkeit in ewigem Schwunge dieselbe Bahn zu durchlaufen, können wir jedoch mit unseren schwachen Kräften noch nicht ergründen; aber freuen wollen wir uns, daß wir in jenen Strom verflochten sind, und daß unserem Geiste die Herrschaft über ihn, so lange er auf unserem irdischen Gebiete verweilt, erteilt ist.

§ 5. (Wellenbewegung des Lichtes.) Kehren wir nun wieder zur Betrachtung der Lichterscheinungen zurück, so müssen wir dem obigen zufolge annehmen, daß ein leuchtender Körper Transversalschwingungen des Äthers verursacht, die, wenn sie bei ihrem Fortschreiten die Netzhaut treffen, auf eben dieselbe Art in unserem Auge Lichtempfindungen hervorrufen, wie longitudinale Luftwellen in unserem Ohre Töne.

Wir können uns demgemäß die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Schwingungen des Lichtäthers ähnlich den Wellen vorstellen, die von einem in das Wasser geworfenen Steine erzeugt werden. Der Richtung des Lichtstrahles entspricht die Richtung, in der die Wellen fortschreiten; jedes Teilchen bleibt in dem einen wie im anderen Falle im ganzen auf seinem Platze, aber hebt und senkt sich fortwährend und teilt diese Bewegung dem Nachbarteilchen mit. Diese Mitteilung erfordert eine gewisse Zeit, so daß nicht alle Teilchen zugleich sich heben und senken, sondern daß eines nach dem andern seinen höchsten Stand erreicht. Die Stelle, an der das daselbst befindliche Teilchen gerade diesen höchsten Stand erreicht hat, d. i. der Wellenberg, scheint daher stetig fortzuschreiten; ihm folgt ein Wellenthal, diesem wieder ein Wellenberg u. s. w.

Stoßen zwei Wellensysteme auf einander, so werden stellenweise Wellenberge und Wellenthäler des einen Systemes mit den Wellenbergen und Wellenthälern des anderen zusammentreffen, stellenweise aber auch die Wellenberge des einen mit den Wellenthälern des anderen. Im ersteren Falle wird, wie man leicht erkennt, die Wellenbewegung sich verstärken, im letzteren hingegen sich verringern oder auch ganz aufheben. Daß diese Erscheinung auch beim Lichte auftritt, daß nämlich Lichtstrahlen, unter geeigneten Umständen zusammengeleitet, sich in der That gegenseitig verdunkeln können, hat der große Physiker Fresnel durch einen einfachen, so bekannten Versuch nachgewiesen, daß wir ihn nicht weitläufiger zu besprechen brauchen. Für unsere Zwecke wollen wir nur noch auf die ebenfalls allbekannte Thatsache hinweisen, daß diese Erscheinung, die sogenannte Interferenz, ein Mittel dargeboten hat, die unseren Instrumenten an und für sich unmeßbare Länge der Lichtwellen irgend einer Farbe zu bestimmen. Man hat so für verschiedene Stellen des Spektrums (siehe unten § 7), die wir vorläufig durch die Buchstaben A, B, C . . . bezeichnen wollen, folgende Werte gefunden:

	Wellenlänge in Millimetern.
A im Anfange des Rot . . .	0·000761
B im Rot	687
C = = ...	656
D zwischen Orange und Gelb .	589
E im Grün	527
F im Blaugrün	486
G im Dunkelblau	431
H im Violett	397

Da sich Schwingungen von jeder Wellenlänge gleich schnell fortpflanzen, nämlich mit der bekannten Geschwindigkeit des Lichtes von 300 000 km in einer Sekunde, so können wir für jede Farbe leicht die Schwingungsdauer ermitteln, d. h. die Zeit, welche ein und derselbe Punkt des schwingenden Mittels braucht, um eine ganze Schwingung zu vollenden. Da z. B. die Wellenlänge des äußersten Rot 0·000 761 mm beträgt, so haben in 300 000 km 394 Billionen Wellen roten Lichtes Platz. Alle 394 Billionen Wellen sollen nun vermöge der Geschwindigkeit des Lichtes in einer Sekunde durch einen gewissen Punkt, z. B. den Endpunkt der 300 000 km hindurchgehen; dieser muß also 394 Billionen Schwingungen in einer Sekunde machen, er braucht mithin zu einer Schwingung nicht mehr als $\frac{1}{394000000000000}$ einer Sekunde. So findet man

	Anzahl d. Schwing. in 1 Sek.		Anzahl d. Schwing. in 1 Sek.
für A . . .	394 Billionen	für E . . .	569 Billionen
= B . . .	437 =	= F . . .	617 =
= C . . .	457 =	= G . . .	696 =
= D . . .	509 =	= H . . .	756 =

Damit ist also der Beweis geliefert, daß, wie die Höhe des Tones bedingt ist durch eine größere oder kleinere Zahl von Luftstößen, die während einer bestimmten Zeit das Ohr treffen, so das Auge die größere oder kleinere Anzahl der Schwingungen des Lichtmediums als Farbe empfindet. Zugleich sehen wir aber auch daraus, daß das Auge Farbenabstufungen nur innerhalb eines weit enger begrenzten Gebietes wahrnehmen kann, als das Ohr Tonabstufungen, da im Sinn der Töne das ganze uns sichtbare Spektrum knapp eine einzige Oktave umfaßt.

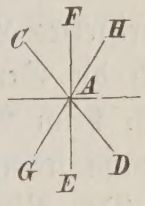
§ 6. (Polarisation). Um eine schwingende Bewegung vollständig zu charakterisieren, müssen wir folgendes kennen:

1. die Größe des bei jeder Schwingung von dem schwingenden Teilchen durchlaufenen Raumes oder in unserem Falle die Intensität des Lichtes;
2. die Richtung, in der die Schwingung stattfindet;
3. die Schwingungsdauer oder die Farbe.

Die Stärke des Lichtes hängt nur von der Größe der Bewegung ab; denn die Schwingungsdauer wird durch die Größe der Schwingung nicht beeinträchtigt, da eine größere schwingende Bewegung hier mit gerade ebenso oftmal größerer Geschwindigkeit vollbracht wird, als der zurückgelegte Weg eben größer ist.

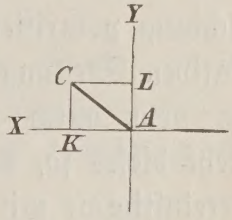
Was die Schwingungsrichtung anlangt, wollen wir zunächst wieder auf unser Beispiel von den Wasserwellen zurückkommen. Bei diesen erfolgt das Heben und Senken der Wellenbewegung immer in der Richtung der Schwere, weil diese es ist, welche die Teilchen in ihre Ruhelage zurückzuführen strebt und dadurch der ganzen Bewegung den Charakter der Periodizität aufdrückt. Bei den Ätherwellen vertritt die Elastizität des Äthers die Stelle der Schwere, wie die Feder an der Unruhe einer Taschenuhr das von der Schwere affizierte Pendel einer Pendeluhr. Diese Elastizität ist aber, nach welcher Seite man das Ätherteilchen auch verschieben mag, immer dieselbe; die Schwingungen können daher in allen möglichen transversalen, d. h. auf der Fortpflanzungs-Richtung senkrechten Richtungen vor sich gehen und thun dies beim gewöhnlichen Lichte auch in der That.

Fig. 41.



Es ist jedoch ganz gut denkbar, daß es auch Licht gäbe, dessen Schwingungen wie die Wasserwellen durchaus einerlei Richtung haben. Man nennt solches Licht polarisiert, und die durch den Strahl und die Schwingungsrichtung gelegte Ebene, in der daher die Schwingungen vor sich gehen, die Schwingungsebene. Die Art und Weise, wie solches Licht entsteht, kann man sich folgendermaßen versinnlichen.

Fig. 42.



Es gehöre der Punkt A (Fig. 41) einem Lichtstrahle an, der senkrecht zur Ebene des Papieres, also von A zum Auge des Lesers fortschreitet. Wir haben eben gesagt, daß die Ätherteilchen in einem gewöhnlichen Lichtstrahle in allen möglichen zur Fortpflanzungsrichtung senkrechten Richtungen schwingen können. Die Linien CD, EF, GH . . ., in der Ebene des Papiers liegend, stellen uns dann solche Bahnen der Ätherteilchen dar. Wir wollen eine derselben, z. B. CA (Fig. 42), zur näheren Betrachtung wählen.

Das Ätherteilchen kann von A nach C auf verschiedene Art gelangen. Es kann von einer in der Richtung AC wirkenden Kraft direkt nach C gestoßen werden; es kann aber auch durch eine längs AK wirkende Kraft zuerst nach K und hierauf durch eine ähnliche parallel zu AL wirkende nach C gebracht werden. Auch wenn diese beiden Kräfte AK und AL zugleich wirken, bringen sie das Teilchen nach C, nur eben nicht auf dem Wege AKC, sondern direkt auf dem Wege AC. Wir können uns die Verschiebung des Teilchens nach AC ebenso gut durch eine Bewegung AC als durch zwei gleichzeitige Bewegungen AK und AL vollendet denken. Wie diese Bewegung AC können wir aber auch alle anderen EF, GH (Fig. 41) zerlegt (I., § 47) denken, jede in zwei Schwingungen, die

eine parallel zu AX (Fig. 42), die andere zu AY. Statt des nach allen Richtungen schwingenden Strahles in Fig. 41 können wir somit einen nur nach zwei auf einander senkrechten Richtungen schwingenden annehmen, der mit jenem in der That identisch ist; der Unterschied liegt nur in der Art, wie man sich die Schwingungen *vorstellt*.

Da nun die zwei auf einander senkrecht schwingenden Teile oder Komponenten des Lichtstrahles unter gewöhnlichen Verhältnissen immer vereinigt bleiben, also z. B. bei dem Eintritte in Glas beide gleich stark gebrochen, d. h. beide gleich stark von ihrer Richtung abgelenkt werden, so geben sie immer wieder denselben gewöhnlichen Lichtstrahl. Manche Substanzen, so namentlich ein in Island gefundenes Mineral, der Doppelspat, haben aber die Eigenschaft, beide Komponenten im allgemeinen ungleich stark zu brechen, so daß sie nach dem Austritte aus dem Krystall nicht mehr zusammenfallen, sondern gesondert fortschreiten, was unter anderem auch zur Folge hat, daß alle Gegenstände, durch ihn gesehen, doppelt erscheinen. Ein solcher Krystall bietet nun das einfachste Mittel dar, polarisiertes Licht zu erhalten; man braucht nur den einen Strahl, nachdem er durch die Brechung von dem andern getrennt ist, ganz wegzuschaffen, wie dies z. B. beim *Nicol*'schen Prisma geschieht. Der übrig bleibende zweite Strahl ist dann streng nach einer Richtung polarisiert.

Das Nicol'sche Prisma repräsentiert also ein Medium, das bloß nach einer gewissen Richtung schwingendes Licht durchläßt. Fällt daher ein Strahl, der schon durch ein Nicol'sches Prisma gegangen und dadurch in einer gewissen Richtung polarisiert ist, auf ein zweites Nicol'sches Prisma, so wird es von der relativen Stellung dieses zweiten zum ersten Prisma abhängen, ob und wieviel von dem durch das erste polarisierten Lichte durch das zweite gelangen kann. Steht dieses so, daß die Schwingungsrichtung des von ihm durchgelassenen Lichtes übereinstimmt mit der Schwingungs-Ebene des von dem ersten Nicol'schen Prisma kommenden Lichtes, so wird dieses vollständig durchgelassen. Stimmen diese beiden jedoch nicht überein, sondern steht z. B. die erstere auf der zweiten senkrecht, so wird von dem zweiten Prisma gar nichts durchgelassen, und obgleich beide Prismen im gewöhnlichen Sinne des Wortes durchsichtig sind, sieht man, wenn sie sich in dieser gegenseitigen Lage befinden, ebensowenig durch sie, als ob sie vollkommen undurchsichtig wären.

Ein solches Nicol'sches Prisma ist daher auch ein vortreffliches Mittel, um zu erkennen, ob ein gewisser Lichtstrahl polarisiert sei oder nicht. Man läßt den Lichtstrahl durch dasselbe ins Auge gelangen und dreht das Prisma dabei um sich selbst. Verschwindet das Licht bei einer gewissen Lage des Prisma, so ist das Licht vollständig in einer dieser Lage entsprechenden Richtung polarisiert. Aber man nennt das Licht auch dann polarisiert, wenn es nicht vollständig verschwindet; es schwingt alsdann nicht *bloß* sondern nur *vorwiegend* in einer einzigen Richtung; die auf dieser Richtung senkrechte Komponente ist nicht wie

bei vollständiger Polarisation null, sondern nur schwächer als jene erste. Die durch das Prisma gesehene Lichtquelle verschwindet dann beim Drehen desselben nicht vollständig; sie erscheint nur bei einer gewissen Lage am hellsten, bei einer auf dieser senkrechten am dunkelsten.

Wir kommen häufig in die Lage, Lichtstrahlen in Bezug auf ihre Polarisation zu untersuchen und daraus wichtige Schlüsse zu ziehen. Wir wollen daher noch hinzufügen, daß, so oft ein Lichtstrahl von irgend einem Körper, sei er fest oder flüssig oder gasförmig, reflektiert wird, das reflektierte Licht deutliche Spuren von Polarisation zeigt, und daß, wenn der Winkel, unter dem die Reflexion stattfand, eine durch die Natur des reflektierenden Körpers bestimmte Größe erreicht, diese Polarisation sogar eine vollständige wird. Es geht dabei etwas Ähnliches vor, wie beim doppelt brechenden Kalkspath; die eine Komponente des Lichtes wird stärker zurückgeworfen als die andere auf dieser senkrecht schwingend gedachte, und bei einem gewissen Einfallswinkel wird sogar nur die eine Komponente reflektiert; das reflektierte Licht ist dann vollständig polarisiert.

Die Helligkeit des Himmels verdanken wir bekanntlich dem Umstande, daß die Luft einen kleinen Teil des Lichtes, welches die Sonne durch sie sendet, reflektiert (I., § 109). Es ist daher das Licht des Himmels besonders an jenen Stellen desselben, wo der Reflexionswinkel eine angemessene Größe hat, sehr merkbar polarisiert, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man ein Nicolsches Prisma auf den blauen Himmel richtet und dabei um sich selbst dreht. Die Polarisation des Himmelsgrundes giebt sich dann sofort durch einen auffallenden Wechsel der Intensität des Lichtes kund.

§ 7. (Komplementäre Farben.) Es ist bekannt, daß jeder Strahl weißen Lichtes aus einer Anzahl verschiedenfarbiger Strahlen, den sog. Regenbogenfarben, zusammengesetzt ist, von welchen die eine in die andere durch allmählige Abstufungen übergeht.

Man unterscheidet gewöhnlich 7 Farben, obschon es angemessener wäre, deren nur 6 zu zählen. Sie sind nämlich der Reihe nach Rot, Orange, Gelb, Grün, Hellblau, Dunkelblau und Violett. Die beiden letzteren sollte man füglich unter der gemeinschaftlichen Benennung „Violett" zusammenfassen, da sie doch beide nur Abstufungen der in das Rote spielenden blauen Farbe sind. Newton, der zuerst 7 Hauptfarben annahm, scheint diese Zahl einer kleinen Schwärmerei zu Liebe vorgezogen zu haben, indem er sie mit den 7 Tönen der Oktave und mit anderen mystischen Eigenschaften dieser für heilig gehaltenen Zahl in Verbindung bringen wollte.

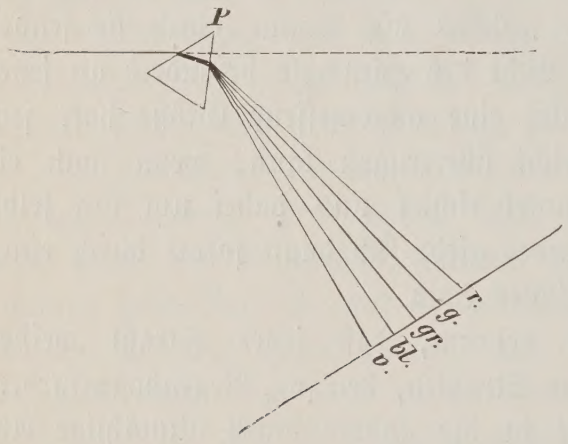
Teilt man die Peripherie eines Kreises in 6 gleiche Teile, und nennt man den ersten Teil rot, den zweiten angrenzenden orange, den dritten gelb, dann grün, blau und violett, so liegt in der so bezeichneten Figur jeder Farbe diejenige gegenüber, welche man deren komplementäre genannt hat, weil sie, mit ihr gemischt, weißes Licht hervorbringt. So ist also

Grün die komplementäre Farbe von Rot,
Violett = = = = Gelb,
Orange = = = = Blau.

Man will bemerkt haben, daß je zwei komplementäre Farben einen gefälligeren Eindruck auf das Auge machen, als z. B. grün und gelb, etwa wie zwei um eine Terze oder Oktave entfernte Töne zusammen dem Ohr angenehmer sind als Töne von anderen Intervallen. Wie es aber auch mit dieser Eigenschaft der komplementären Farben beschaffen sein mag, so wollen wir hier uns nicht näher damit befassen, sondern lieber noch einer andern interessanten Eigentümlichkeit derselben erwähnen.

Wenn man nämlich einer schwach erleuchteten weißen Fläche ein gefärbtes intensives Licht nahe bringt, so erscheint diese weiße Fläche sogleich in der komplementären Farbe jenes Lichtes. Wird z. B. einem matt erleuchteten weißen Papier ein stark rotes Licht genähert, so erscheint das Papier nicht rot, sondern grün, und war jenes Licht gelb, so erscheint das Papier violett; war endlich jenes Licht blau, so wird das Papier orangefarb erscheinen. Aus dieser Ursache erblickt man eine weiße Wand voll violetter Flecke, wenn man kurz zuvor das Auge gegen die Sonne gerichtet hat.

Fig. 43.



§ 8. (Spektrum.) Gleichwie die komplementären Farben, einzeln zusammengebracht, sich zu einem farblosen Lichtstrahle zusammensetzen, geben auch alle Regenbogenfarben, miteinander in demselben Verhältnisse gemischt, in welchem sie im Sonnenlichte vorkommen, weißes Licht. Läßt man jedoch einen farblosen Strahl auf ein Glasprisma (Fig. 43) fallen, so werden zwar alle Strahlen durch dasselbe abgelenkt, d. h. in ihrer Richtung verändert, aber nicht alle gleich stark; es zeigt sich vielmehr, daß die Größe der Ablenkung bei demselben Prisma auch von der Farbe des abzulenkenden Strahles abhängt; so wird Rot immer am wenigsten, Orange stärker u. s. w. und am stärksten Violett abgelenkt. Die Strahlen werden sich daher nach dem Austritte aus dem Prisma nicht mehr gegenseitig decken, sondern, auf einem weißen Schirm aufgefangen, ein farbiges Bild erzeugen, welches die einfachen Lichtgattungen, die in ihrer Vereinigung den untersuchten farblosen Lichtstrahl bildeten, wie im Regenbogen *nebeneinander* zeigt und das *Spektrum* desselben genannt wird. Daß die Farben des Spektrums einfach oder homogen seien, daß z. B. Grün nicht noch ein Gemenge anderer Farben sei, kann man leicht nachweisen, wenn man den grünen Strahl abermals auf ein Prisma fallen läßt; er wird durch dasselbe nicht weiter zerlegt,

sondern bleibt nach wie vor grün. Ebenso leicht ist der Beweis zu führen, daß die Farben des Spektrums nicht etwa erst im Prisma entstehen, sondern daß farbloses Licht eben nur eine Vereinigung dieser Farben sei: man braucht die letzteren nur durch eine Sammellinse wieder zu vereinigen, um sogleich wieder farbloses Licht zu bekommen.

Wenn nun, um bei dieser Erscheinung stehen zu bleiben, das Sonnenlicht ursprünglich farblos und nicht aus farbigen Strahlen zusammengesetzt wäre, welche Folgen würden aus einer solchen Einrichtung entstehen? Wie ein farbiger, z. B. roter Körper nicht deshalb rot erscheint, weil er selbst rotes Licht erzeugt (sonst müßte er ja auch im Dunkeln rot leuchten), sondern weil er von den Strahlen des farblosen Lichtes, das auf ihn fällt, nur die roten zurückwirft, alle übrigen aber zurückhält, — so würden alle Körper, die jetzt in den verschiedensten Farben prangen, farblos sein, die ganze Natur würde ein bleifarbiges Ansehen haben, und die tausendfältigen Genüsse, welche das uns jetzt umgaukelnde Farbenspiel gewährt, wären alle verloren.

Betrachten wir nun das auf die oben beschriebene Art entworfene Spektrum des Sonnenlichtes etwas aufmerksamer. Es erscheint uns im allgemeinen als ein länglicher Streifen, der von einem Ende zum andern die oben angeführten Farben des Regenbogens zeigt; diese sind jedoch keineswegs scharf von einander getrennt, sondern gehen ineinander durch alle Nuancen über; und hierauf stützen wir uns, wenn wir behaupten, daß das Sonnenlicht aus unendlich vielen Strahlengattungen bestehe, die wir nur der besseren Übersicht wegen unter den sieben Regenbogenfarben zusammenfassen. Es ist daher auch ziemlich schwierig, die Grenzen der Farben anzugeben; nimmt man die Länge des ganzen Spektrums als Einheit an, so beträgt davon das rote Licht ungefähr 0·12, das orangefarbene 0·07, das gelbe 0·13, das grüne 0·17, das hellblaue 0·17. das dunkelblaue 0·11 und das violette 0·23.

Wendet man jedoch beim Hervorbringen des Sonnenspektrums besondere Behutsamkeit an, sorgt man dafür, daß an jeder Stelle des Spektrums wirklich nur Licht von *einer* Farbe sei, indem man in einiger Entfernung vom Prisma eine Spalte parallel zur Kante desselben aufstellt, so zeigt sich das Spektrum von einer großen Menge gerader schwarzer Linien durchzogen (Fig. 44). Zwei der stärksten derselben hatte schon *Wollaston* im Jahre 1802 bemerkt; er verfolgte jedoch diese Entdeckung nicht weiter, bis 13 Jahre später *Fraunhofer*, dem Wollaston's Entdeckung unbekannt war, mit besseren Mitteln darlegte, daß bei 600 solcher Streifen von verschiedener Dicke und Schwärze, die man nach ihm die *Fraunhofer'schen Linien* nennt, im Sonnenspektrum vorhanden seien. Zur besseren Orientierung bezeichnete er die auffallendsten derselben, vom Rot angefangen, mit den Buchstaben A, B, C, . . . bis H, und auf diese Stellen des Spektrums beziehen sich die früher (§ 5) angegebenen numerischen Werte der Wellenlängen.

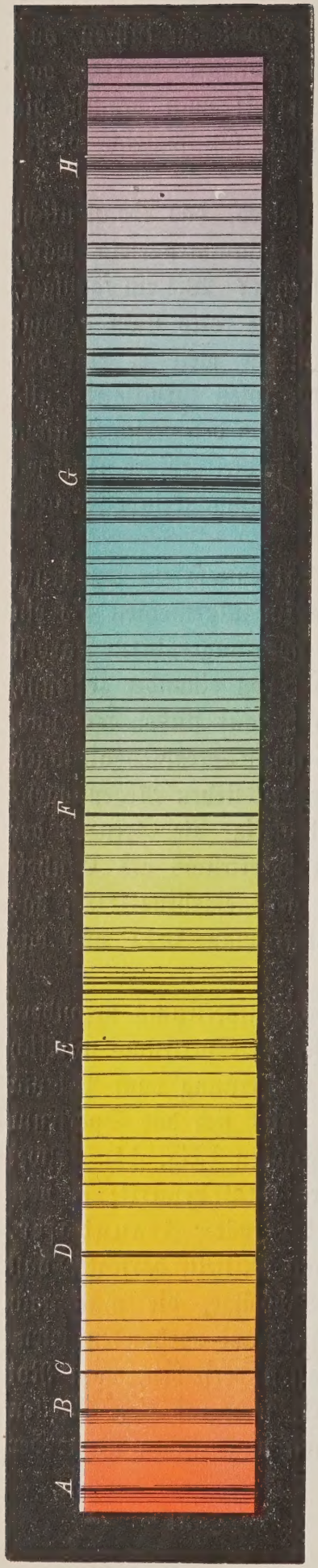


Fig. 44.

Mit unseren heutigen Hilfsmitteln wurden solcher Linien bereits mehrere Tausende gezählt, und man muß erwarten, daß sich ihre Zahl mit der Vervollkommnung der zur Beobachtung angewandten Apparate, wie die Zahl der sichtbaren Fixsterne mit der Güte der Teleskope, noch weiter vermehren wird.

Man sieht diese Linien immer an demselben Orte des Spektrums, also nicht nur in derselben Farbe, sondern auch in derselben Distanz von den benachbarten Linien, welches Prismas man sich auch zur Zerlegung des Lichtes bedienen mag; und da man im Spektrum eines künstlichen weißen Lichtes, z. B. einer Öllampe, keine ähnlichen Streifen bemerkt, so sind die Fraunhofer'schen Linien wesentlich von der Natur des Sonnenlichtes abhängig. Man muß nämlich aus jedem solchen schwarzen Streifen auf die Abwesenheit einer bestimmten Farbe im Sonnenlichte schließen; denn wäre z. B. gar kein Orange vorhanden, so würde im Spektrum ein dunkler Raum von der Breite, den das Orange einnimmt, erscheinen; fehlt aber nicht das ganze Orange, sondern nur eine einzige, ganz bestimmte Nuance desselben, so wird sich dies im Spektrum ebenso kundgeben, nur wird der dunkle Raum viel schmäler sein und als scharfer Querstreifen oder als Fraunhofer'sche Linie erscheinen.

Wenn man das Verfahren der Zerlegung des Lichtes, das Fraunhofer zuerst in vollkommener Weise auf das Sonnenlicht anwandte, zur Untersuchung irdischer Lichtquellen benützt, erhält man ebenfalls ganz bestimmte, wenn auch dem Sonnenspektrum sehr unähnliche Spektra. Jeder weißglühende feste oder tropfbarflüssige Körper giebt ein kontinuierliches Spektrum, das alle Farben von Rot bis Violett ohne die geringste Unterbrechung oder Querlinie zeigt. Nicht so bei einem in Dunstform erhitzten Körper. Schon lange ist bekannt, daß gewisse Salze, in einer intensiven Flamme verflüchtigt, dieser eine

charakteristische Färbung erteilen; man benützt ja diese Erscheinung in der Feuerwerkerei zur Hervorbringung der farbigen Flammen. Eine Analyse des Lichtes solcher gefärbter Flammen zeigt, daß die Lichtgattungen, die dieselben ausstrahlen, ganz bestimmt und für die färbenden Substanzen charakteristisch sind. Das gewöhnliche Kochsalz z. B., eine Verbindung von Chlor mit Natrium (und ebenso jede Natriumverbindung), giebt, in eine durch zuströmende Luft schwach leuchtend, aber dafür um desto heißer gemachte Gasflamme gehalten, ein Spektrum, welches aus einer einzigen hellen gelben Doppellinie besteht, alle andern Farben fehlen vollständig; Kalkverbindungen geben verschiedene orangefarbige, grüne und rote Linien; Kupfer eine große Menge heller Linien vom roten bis zum violetten Ende des Spektrums u. s. w. Es ist dabei einerlei, welche Verbindung des betreffenden Körpers man in die Flamme hält, wenn diese nur heiß genug ist, um die Verbindung in ihre Bestandteile zu zerlegen; auch ist im allgemeinen das Spektrum nicht von der Natur der Flamme abhängig, so daß man letztere auch durch den elektrischen Funken ersetzen kann; nur läßt eine höhere Temperatur und höherer Druck manche Linien deutlicher hervortreten und damit auch neue, früher unsichtbare, sichtbar werden.

Da diese Erscheinungen so bestimmt und für die untersuchte Substanz so charakteristisch sind, so sieht man leicht ein, daß man auf dieselben ein Verfahren gründen kann, um in kurzer Zeit die Bestandteile einer Verbindung, die fähig sind, ein Spektrum zu liefern, anzugeben. Wenn man nämlich nicht eine Verbindung, wie z. B. Chlornatrium, sondern ein Gemenge vieler Stoffe in die Flamme hält, so werden zwar die Spektrallinien dieser Stoffe alle zugleich erscheinen; allein durch Messung ihrer Lage, durch ihre Farbe und wechselseitige Gruppierung wird man immer leicht erkennen, welcher Stoff in der untersuchten Substanz jede der Linien hervorgerufen habe.

Dieses Verfahren, das man passend Spektralanalyse benennt, zeichnet sich nicht nur durch Schnelligkeit und Bequemlichkeit der Ausführung (da ein einziger Blick dasselbe lehrt, wie sonst eine weitläufige chemische Analyse), sondern auch durch eine außerordentliche Empfindlichkeit aus. Man kann auf diesem Wege noch Quantitäten eines Stoffes nachweisen, die so gering sind, daß keine chemische Analyse dieselben je gefunden haben würde. Es sei des Beispiels halber erwähnt, daß $^1/_{10\,000\,000}$ eines Grammes Chlornatrium noch eine sehr deutliche Doppellinie im Spektrum erscheinen läßt. Dürfen wir uns daher wundern, wenn man in der kurzen Zeit, seit die Spektralanalyse in Gebrauch gekommen ist, nicht nur schon bekannte Grundstoffe dort nachwies, wo man dieselben früher nie voraussetzte, z. B. das Lithium in der Tabaksasche, sondern sogar schon eine Reihe neue Metalle: Caesium, Rubidium, Thallium, Indium, Gallium u. s. w. auf diesem Wege entdeckt hat?

Die bisher beschriebenen Erscheinungen sind weit länger bekannt, als man gewöhnlich glaubt; denn schon J. Herschel gab in den Edinburg Philoso-

phical Transactions von 1822 die Grundzüge der Spektralanalyse und die Vorteile ihrer Anwendung in der Chemie mit klaren Worten an. Außerdem besprachen dieselbe auch Fraunhofer, Fox Talbot, Brewster, Swan, Angström u. a.; doch blieben diese Ideen sonderbarerweise gänzlich unbeachtet, bis im Jahre 1859 Kirchhoff und Bunsen abermals die Wichtigkeit der Spektralerscheinungen hervorhoben, zugleich aber denselben eine neue Seite abgewannen, die nicht nur für die Chemiker und Physiker, sondern auch für die Astronomen von höchstem Interesse ist. Sie unternahmen nämlich eine umfassende Vergleichung des Sonnenspektrums mit irdischen Flammenspektren und fanden, daß eine große Zahl der dunkeln Fraunhofer'schen Linien genau dieselbe Stelle im Spektrum einnimmt, wie die lichten Linien gewisser Flammenspektren. So fanden sie die von Fraunhofer mit D bezeichnete Doppellinie im Gelb genau korrespondierend der gelben Doppellinie des Natriums. Die Ursache dieser merkwürdigen Erscheinung wird uns durch folgenden Versuch klar werden.

Wenn man ein Stück Kalk durch ein sogenanntes Knallgasgebläse, d. i. eine Wasserstoffflamme, die durch zuströmendes Sauerstoffgas angefacht wird, zur höchsten Weißglühhitze bringt und das blendende Licht, welches das keiner Verflüchtigung fähige Kalkstück dann ausstrahlt, auf den Spektralapparat fallen läßt, so erhält man, wie nach dem früher Gesagten zu erwarten, ein durchaus kontinuierliches Spektrum. Läßt man aber die von dem Kalkstück ausgehenden Strahlen, bevor dieselben zum Spektralapparate gelangen, durch eine Flamme streichen, die durch Natriumdämpfe gelb gefärbt ist, so erscheint eine dunkle Doppellinie im gelben Teile des Spektrums genau an derselben Stelle, wo die helle Doppellinie der für sich betrachteten Natriumflamme sich zeigt. Die Flamme fing also, während sie alle andern Farben ungehindert durchließ, die Strahlen des durchgehenden Lichtes auf, welche dieselbe Farbe besaßen wie sie selbst, und zwar fing sie deren mehr auf, als sie vermöge ihrer eigenen Leuchtkraft aussendete, sonst könnten die Stellen des Spektrums, welche diese Farbe enthalten, nicht dunkler erscheinen als ihre Umgebung. Ähnliches gilt auch von anderen gefärbten Flammen; wenn man hinreichend intensives, weißes Licht durch sie leitet, erscheinen die früher hellen Spektrallinien dunkel auf hellem Hintergrunde. Auch kann man den glühenden Kalkzylinder durch das Sonnenlicht ersetzen; macht man dann den Versuch mit einem Stoffe, dessen Spektrallinien keine Fraunhofer'schen Linien entsprechen, so erscheinen an den betreffenden Stellen dunkle, den Fraunhofer'schen ganz ähnliche Linien; entsprechen aber den Spektrallinien des angewendeten Stoffes Fraunhofer'sche Linien, so werden diese durch Zwischensetzung der Flamme auffallend stärker und schwärzer.

Da wir sonach imstande sind, den Fraunhofer'schen vergleichbare dunkle Linien im Sonnenspektrum hervorzurufen, wird auch die Erklärung jener selbst keiner Schwierigkeit mehr unterliegen. Wir brauchen nur anzunehmen (was ja auch anderen Beobachtungen entspricht), daß um einen weißglühenden festen oder

tropfbarflüssigen Sonnenkern eine Atmosphäre sich befindet, die bei der überaus hohen Temperatur der Sonne Stoffe in Dunstform aufgelöst enthält, die wir auf unserer Erde nur in festem oder tropfbarflüssigem Zustande kennen. Diese Dämpfe absorbieren, indem das an und für sich ein kontinuierliches Spektrum gebende Licht des Kernes durch sie geht, gewisse Farbennuancen desselben gerade so wie die Natriumflamme die gelben Strahlen des Kalklichts und veranlassen so die Fraunhofer'schen Linien. Von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet, geben uns also die Fraunhofer'schen Linien ein Mittel an die Hand, die Stoffe kennen zu lernen, welche in der Atmosphäre der Sonne in Gasform enthalten sind.

Die große Zahl dieser Linien darf uns nicht wundern, wenn wir bedenken, daß in der Sonnenatmosphäre gewiß viele uns zum Teile vielleicht ganz unbekannte Stoffe existieren, und daß die wenigsten Stoffe ein so einfaches Spektrum besitzen wie das Natrium. So enthält beispielsweise das Spektrum des Titan über 200, das des Eisens sogar gegen 500 Linien, von denen resp. 118 und 450 der intensivsten nach den Untersuchungen von Ångström und Thalén als dunkle Linien im Sonnenspektrum sich vorfinden. Überhaupt hat man bisher zu etwa 1000 Fraunhofer'schen Linien korrespondierende in den Spektren irdischer Stoffe nachgewiesen. Zu diesen Stoffen gehören außer den bereits erwähnten Natrium, Titan und Eisen noch Wasserstoff, Calcium, Barium, Magnesium, Nickel, Kobalt, Mangan, Chrom u. s. w. Wir schließen daraus, daß diese Stoffe in Gasform in der Sonnenatmosphäre vorkommen; hingegen scheinen Gold, Silber, Lithium u. dgl. darin zu fehlen, da die Spektren dieser Körper keine Übereinstimmung mit Fraunhofer'schen Linien zeigen. Andrerseits konnten zu manchen der intensivsten Fraunhofer'schen Linien wie A und B bisher noch keine entsprechenden im Spektrum irdischer Stoffe aufgefunden werden; diese dürften daher Stoffen angehören, die sich auf unserer Erde nicht vorfinden.

Nachdem man auf diese Art wichtige Aufschlüsse über die Konstitution der Sonne erhalten hatte, wurden nach und nach auch zahlreiche andere Himmelskörper spektralanalytisch untersucht. Die höchst bedeutsamen Resultate, welche dabei gewonnen wurden, werden geeigneten Ortes besprochen werden. Doch sieht man bereits aus dem wenigen hier Gesagten, daß uns die Spektralerscheinungen bisher völlig unbekannte Gebiete der Forschung eröffnet haben. Wer dachte wohl je beim Anblick eines Regenbogens, daß die Natur weitreichende Aufschlüsse in dies wechselnde Farbenspiel mit so deutlichen Zügen geschrieben habe! Wir lesen in diesem Zeichen nicht nur, was auf Erden in den kleinsten Teilchen der Körper vor sich geht, — was in den fernsten Himmelsräumen sich befindet, ist uns darin erschlossen, was uns bisher unerreichbar und unerforschbar schien, ist eröffnet, seit die jüngere Schwester der Astronomie, die Physik, den Schlüssel gefunden und ihn Uranien dargeboten hat.

§ 9. (Unsichtbare Teile des Spektrums.) Aber die Wissenschaft hat sich nicht be-

gnügt, das Sichtbare zu betrachten; sie hat unsern Gesichtskreis auch auf das Unsichtbare ausgedehnt und dieses unseren Sinnen zugänglich gemacht.

Mehr als 770 Billionen Ätherschwingungen in der Sekunde bringen auf unser Auge nicht mehr den Eindruck des Lichtes hervor, ebenso wie unser Ohr mehr als 48 000 Luftschwingungen in der Sekunde nicht mehr als Ton empfindet. Derartige Strahlen, die noch schneller als Violett schwingen, denen wir daher im Spektrum einen Platz jenseit des Violett anweisen müssen, sind aber im Sonnenspektrum wirklich vorhanden, wie folgender Versuch nachweist.

Bekanntlich hat das Licht die Fähigkeit, in manchen Verbindungen gewisse chemische Veränderungen hervorzurufen; es beruht ja hierauf die schöne Kunst der Photographie. Bringt man eine solche für das Licht empfängliche Substanz, z. B. ein mit Chlorsilber überzogenes Papier, ans Licht, so wird das Chlorsilber zersetzt und feinverteiltes, daher schwarzes Silber scheidet sich ab. Benutzt man dasselbe Papier als Schirm, um das Spektrum aufzufangen, so bildet sich dieses mit allen Fraunhofer'schen Linien darauf ab, allein die Stelle, die dem Rot ausgesetzt ist, wird nur sehr langsam schwarz, schneller die Stelle im Gelb, am schnellsten und stärksten aber der Teil des Papiers, der schon ganz außerhalb des violetten liegt, so daß man den an und für sich unsichtbaren ultravioletten Teil des Spektrums auf dem Chlorsilberpapier noch weit hinaus verfolgen kann. Man sieht daraus, daß die unsichtbaren, ultravioletten Strahlen es sind, denen die größte chemische Wirksamkeit zukommt, und nennt deshalb diesen Teil des Spektrums vorzugsweise das chemische Spektrum. Es erweist sich dasselbe geradezu als eine Fortsetzung des sichtbaren Spektrums; wie dieses, hat es auch seine Fraunhofer'schen Linien, ja man findet hier deren beinahe noch breitere und schönere und bezeichnet die auffallendsten derselben im Anschlusse an die Linien des sichtbaren Spektrums mit I, K, L . . .

Noch eine andere, nicht minder interessante Erscheinung bestätigt die Existenz der ultravioletten Strahlen. Es giebt nämlich gewisse Stoffe, welche die merkwürdige Eigenschaft zeigen, die Schwingungsdauer der auf sie auffallenden Lichtstrahlen zu vergrößern und dadurch zu bewirken, daß uns noch ein Teil der für unser Auge unter gewöhnlichen Verhältnissen bereits unsichtbaren Strahlen sichtbar wird. Bestreicht man z. B. ein weißes Blatt Papier mit einer Lösung von schwefelsaurem Chinin, und bringt man es hierauf in den dunklen Raum jenseit des violetten Endes des Spektrums, so leuchtet es, obschon anscheinend gar kein Licht darauf fällt, in schön blauem Lichte. Denn indem es die an und für sich von unserem Auge nicht empfundenen Strahlen reflektierte, machte es deren Schwingungen so langsam, daß wir sie als Blau wahrnehmen können. Wo aber gar keine Schwingungen hinfallen, da nützt auch das Herabsetzen der Schwingungszahl nichts, die Stelle bleibt dunkel; daher erscheinen auch hier die bereits erwähnten Fraunhofer'schen Linien I, K, L . . . in ausgezeichneter Schönheit auf dem blauen Hintergrunde. Wie das schwefelsaure Chinin zeigen auch

andere Stoffe ähnliches Verhalten, nur setzen sie die Schwingungszahl verschieden stark herunter. Nach dem Flußspate (einer Verbindung des Fluor mit Calcium) nennt man diese Erscheinung überhaupt Fluorescenz.

Mit dem Studium der ultravioletten Strahlen haben sich vorzüglich Maskart, Esselbach und Cornu beschäftigt, und namentlich hat der letztere das Spektrum bis zu einer unwirksamen, von ihm U genannten Linie aufgenommen. Die Wellenlängen und Schwingungszahlen einiger der vorzüglichsten solcher Linien im ultravioletten Teile des Spektrums sind nach den genannten Forschern

für	Wellenlänge in Millim.	Anzahl der Schwingungen in 1 Sek.
K	0·000 393	763 Billionen
M	373	804 =
O	344	872 =
P	336	893 =
R	318	943 =
T	302	995 =
U	295	1040 =

Eigentümlicherweise hört das Sonnenspektrum, plötzlich, wenn auch nicht ganz scharf bei der Linie U auf, und zwar beträchtlich früher als das Spektrum vieler irdischer Lichtquellen. So konnte Cornu im Spektrum des Cadmium noch eine chemisch wirksame Linie nachweisen, deren Wellenlänge 0·000 219 mm beträgt, in dem des Zinkes noch eine von 0·000 202 mm, und Soret in dem des Aluminiums sogar noch eine von nur 0·000 185 mm Wellenlänge. Der letzteren entspricht eine Schwingungszahl von 1620 Billionen in einer Sekunde! Die Ursache des früheren Erlöschens des Sonnenspektrums kann wohl nur darin gesucht werden, daß unsere Atmosphäre alle Strahlen mit kleinerer Wellenlänge als 0·000 295 mm vollständig absorbiert, wie denn auch in der That nach Huggins Untersuchungen die Spektra der Sterne ebenfalls nicht weiter verfolgt werden können, als das Spektrum der Sonne.

Allein nicht nur jenseit des Violett, sondern auch jenseit des Rot setzt sich das Spektrum, allerdings abermals für unser Auge unsichtbar, weiter fort, giebt aber seine Gegenwart durch eine andere Erscheinung kund. Das Sonnenlicht leuchtet nicht nur, es bringt nicht nur chemische Veränderungen hervor, — es wärmt auch. Wenn man nun das Spektrum durch ein Prisma aus klarem Steinsalze, welches die Wärmestrahlen vollkommen durchläßt (was Glas keineswegs thut), entwickelt und die Verschiedenheit der wärmenden Kraft jeder Farbe mittels eines Thermometers prüft, so erhält man das überraschende Resultat, daß die wärmste Stelle im dunklen Raume jenseit des Rot liege. Dieser Raum ist also auch von Strahlen erfüllt, die unser Auge zwar ebensowenig wahrnimmt, wie die ultravioletten, die aber dafür unser Gefühl als Wärme empfindet, gleichwie wir von demselben Stoffe Geruch und Geschmack unter-

scheiden, je nachdem Teilchen desselben an unsere Geruchs- oder Geschmacksnerven gelangen; der Unterschied liegt eben nur in der Einseitigkeit unserer Sinneswerkzeuge.

Der infrarote Teil des Spektrums besitzt, den dunkeln Linien entsprechend, ebenfalls zahlreiche, teilweise sehr mächtige und breite wärmelose Linien, von denen die ersten 1840 Herschel und 1842 Draper und einige Jahre nachher, unabhängig von ihm, Foucault und Fizeau auffanden. Die nähere Kenntnis dieser Partie des Spektrums, deren Untersuchung besonderen Schwierigkeiten unterliegt, verdanken wir außer dem obengenannten Draper hauptsächlich noch den Bemühungen von Becquerel, Langley und W. de W. Abney. Aus den Beobachtungen des letzteren hat Prof. v. Lang die Wellenlängen einer Reihe dieser Linien bestimmt, von denen wir hier wieder einige anführen:

für	Wellenlänge in Millim.	Anzahl der Schwingungen in 1 Sek.
Z	0·000 824	364 Billionen
X	854	351 =
σ	942	318 =
τ	983	305 =
φ	1224	245 =
ψ	1546	194 =
Ω	1800	160 =

Im Jahre 1882 ist es übrigens Langley gelungen, mit Hilfe eines eigens hierfür konstruierten, Bolometer genannten, Instrumentes, das infrarote Spektrum der Sonne sogar bis auf Wellenlängen von beiläufig 0·003 mm zu verfolgen. Seiner Meinung nach würde es sich aber ohne Vorhandensein unserer, die großen Wellenlängen besonders absorbierenden Atmosphäre noch beträchtlich weiter erstrecken. Bleiben wir jedoch bei den hier gegebenen Grenzwerten, so kennen wir im Sonnenspektrum jetzt Ätherschwingungen mit Wellenlängen von 0·003 bis 0·000 295 mm oder Schwingungszahlen von 95 bis 1040 Billionen in einer Sekunde, also Ätherschwingungen im Umfange von beiläufig $3^1/_2$ Oktaven. Davon umfaßt die erste und zweite Oktave hauptsächlich die Wärme-, die dritte die Licht- und die vierte die chemischen Strahlen. Diesem entsprechend findet auch Langley, daß von der ganzen wärmenden Kraft der Sonne, welche die Erde belebt, nur $^1/_4$ im sichtbaren und ultravioletten Teile des Spektrums enthalten ist, während $^3/_4$ auf den infraroten Teil desselben entfallen.

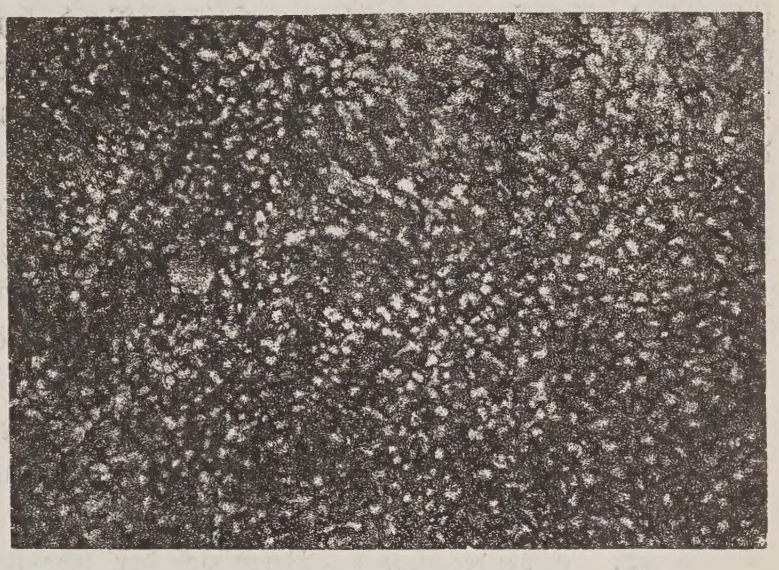
Seither hat Langley das Bolometer noch so weit verbessert, daß es Temperaturunterschiede bis auf ein Milliontel Centigrade zu messen gestattet, und die Position der dunkelen Bande im Infrarot mit einer Genauigkeit festgelegt, wie sie im sichtbaren Spektrum nur durch ein stark brechendes Spektroskop erhalten wird. Es ist ihm auf diese Art gelungen, auch in diesem Teile des Spektrums

mehr als 2000 zum Teil sehr starke Linien nachzuweisen, die er aber größtenteils als durch Absorption in unserer Atmosphäre entstanden erachtet.

Des weiteren hat Langley auch die Wellenlängen von Wärmestrahlen untersucht, die von irdischen Wärmequellen, teilweise von sehr niederer Temperatur, ausgestrahlt werden, und dabei Wellenlängen bis 0·011 mm beobachtet. Allein auch dies hält er noch nicht für den Grenzwert der längsten Wärmewellen; er schätzt diesen vielmehr auf etwa 0·03 mm. Diesem würde eine Zahl von 9 bis 10 Billionen Schwingungen in einer Sekunde entsprechen.

§ 10. (Teleskopisches Aussehen der Sonne; Flecken und Fackeln.) Wenn man die Sonne durch ein Fernrohr betrachtet, das zur Schützung des Auges mit einem gefärbten Planglase oder besser mit einer der neueren Vorrichtungen zu diesem Zwecke (s. unten) versehen ist, so erblickt man auf ihrer Oberfläche gewöhnlich mehrere meistens sehr unregelmäßig geformte, scharfbegrenzte dunkle Stellen — die sogenannten *Flecken* —, von denen die größeren fast immer mit einem aschfarbenen, in der Regel überall nahe gleich breiten Saume — dem *Hofe* oder der *Penumbra* — eingefaßt sind. Im Gegensatze hierzu bemerkt man, vorzüglich an den Rändern der Sonne, häufig andere Stellen, die sich durch ihr helleres Licht auszeichnen und daher *Fackeln* genannt werden. Aber auch der übrige Teil der Sonne, der weder Flecken noch Fackeln zeigt, erscheint höchstens in einem schwachen Fernrohre durchaus gleich licht, während er in einem stärkeren Instrumente ein ganz eigentümliches schuppiges oder flockiges Aussehen annimmt, das sich schwer beschreiben läßt, im allgemeinen aber den Eindruck hervorbringt, als ob die Oberfläche der Sonne aus einer leuchtenden Masse gebildet werde, welche von zahllosen Adern einer anderen, minder hell leuchtenden und mit Reihen kleiner dunkler Punkte besäeten Substanz durchzogen ist. Eine ziemlich klare Vorstellung kann man sich von diesem Aussehen aus dem nebenstehenden Holzschnitte (Fig. 45) bilden, der nach einer am astrophysikalischen Observatorium zu Meudon am 10. Oktober 1877 aufgenommenen Photographie entworfen ist.

Fig. 45.



Nach den Untersuchungen von Stanojewitch verdankt dieses photosphärische Netz seine Entstehung wahrscheinlich einer unregelmäßigen Refraktion in der Gas-

hülle der Sonne, die durch eine fortdauernde höchst unregelmäßige Bewegung derselben hervorgerufen wird.

§ 11. (Veränderlichkeit der Flecken.) Verfolgt man einen Flecken längere Zeit hindurch, so sieht man ihn an Umfang wachsen oder kleiner werden, verschiedene Gestalten annehmen, auseinanderbrechen und wieder zusammenfließen, ja zuletzt sogar gänzlich verschwinden. In dem letzten Falle wird immer zuerst der schwarze Centralpunkt allmählich kleiner und verschwindet lange vor dem aschgrauen Rande.

Die hier geschilderten Vorgänge gehen oft überraschend schnell vor sich; man hat nicht selten die Bildung einzelner Sonnenflecken, ja ganzer Gruppen derselben im Verlaufe weniger Stunden beobachtet und vorhandene ebenso rasch wieder verschwinden sehen. Doch kommen auch Flecken vor, welche längere Zeit ohne Veränderungen ihrer Form dauern, und diese zeigen dann in der Regel folgende Erscheinungen. Man sieht die eigentlichen schwarzen Flecken meistens in einer länglichen Gestalt an dem linken oder östlichen Rande der Sonne eintreten und sich von da langsam gegen den westlichen Rand bewegen, den sie am dreizehnten Tage nach ihrer ersten Erscheinung erreichen, wo sie dann ebenso lange unsichtbar werden, bis sie am Ende dieser zweiten Periode wieder an der früheren Stelle des östlichen Randes hervortreten. Je näher sie dem Mittelpunkte der Sonne kommen, desto breiter scheinen sie zu werden, während sie an den beiden Rändern sehr schmal sind.

Immerhin gehören aber Flecken, welche mehrere solche Perioden überdauern, zu den größten Seltenheiten. Beispiele hierfür bieten uns ein großer Fleck von 1779, der sechs Monate hindurch sichtbar war, dann ein von Schwabe im Jahre 1840 durch acht Umläufe beobachteter und endlich eine Fleckengruppe, die Schwabe in den Jahren 1861 und 1862 18-, vielleicht sogar 22 mal wiederkehren sah.

§ 12. (Größe der Flecken.) Vermöge der ungeheuren Entfernung der Sonne erscheint uns auf ihrer Oberfläche eine gerade, auf unserem Gesichtsstrahl senkrechte Linie von 700 km Länge unter dem Winkel von 1″, und es enthält daher ein Kreis von diesem Durchmesser auf der Oberfläche der Sonne 385 000 km². Allein Flecken, deren Durchmesser geringer als 1″ ist oder diese Größe nicht bedeutend übersteigt, erscheinen selbst bei beträchtlichen Vergrößerungen nur als feine Pünktchen, weshalb man sie gewöhnlich noch nicht als Flecken, sondern als Poren der Sonne bezeichnet. Mit solchen Poren ist die Oberfläche derselben oft förmlich besäet; die eigentlich sogenannten Flecken besitzen weit größere, ja oft riesige Dimensionen. So erreichte der größte Sonnenfleck, den der eifrige Sonnenbeobachter Schwabe in Dessau notierte, am 5. September 1850 einen mittleren Durchmesser von 302″, d. h. von 211 400 km, mit einer Oberfläche von 35 100 Millionen km² — Größen, welche den Durchmesser und die Oberfläche unserer Erde beziehungsweise um das 17- und 69fache übertreffen. Andere größere Flecken, die jedoch lange nicht die Ausdehnung des obigen erreichten, waren einer

vom 30. Juni 1842 mit einem Durchmesser von 168″ und einer vom 22. September 1848, der einen mittleren Durchmesser von 147″ besaß. Der Durchmesser dieses letzten Fleckens beträgt noch immer das 9fache und seine Oberfläche das 18fache der gleichnamigen Dimensionen unserer Erde.

Noch weit größere Ausdehnungen erreichen aber ganze Fleckengruppen, nämlich solche Gebilde, bei denen mehrere, oft sehr viele, dunkle Kerne von einem gemeinsamen Hofe eingefaßt erscheinen und dadurch ihre Zusammengehörigkeit beweisen. Eine der größten derartigen Gruppen trat im Juni 1847 auf; sie hatte nach den Messungen von Schwabe 668″ von Ost nach West oder in dieser Richtung eine Länge von ungefähr 468 000 km. Ähnliche Ausdehnungen erreichen übrigens einzelne Gruppen fast in jeder Epoche der Maximalfrequenz (§ 14) dieser Gebilde.

Hält man nun mit dieser immensen Ausdehnung der Fleckengruppen ihre Veränderlichkeit und den im Vorigen besprochenen Umstand zusammen, daß sie innerhalb weniger Wochen entstehen und wieder spurlos verschwinden, so erhält man eine Vorstellung von den ungeheuren Revolutionen, die auf der Oberfläche unseres Zentralkörpers vor sich gehen müssen.

Ein lehrreiches Beispiel hierfür bietet die letzterwähnte Fleckengruppe. Ihre Längenausdehnung nahm vom 14. bis 16. Juni von 668″ auf 474″ ab: mithin verkleinerte sich dieselbe innerhalb zweier Tage um 136 000 km. Es rückten daher ihre Ränder täglich um 68 000 km zusammen, während die größte Geschwindigkeit eines irdischen Orkanes kaum je 3000 km im Tage erreicht. Noch weit raschere Veränderungen gingen in dem größten früher erwähnten Flecken des Jahres 1850 vor. Sein Durchmesser dehnte sich vom 4. auf den 5. September von 93″ auf 302″ aus, vergrößerte sich also um 146 000 km, womit die von ihm bedeckte Sonnenfläche in einem Tage von 3300 auf 35 100 Millionen km^2 stieg. Am folgenden Tage hatte sich merkwürdigerweise der Hof wieder auf den früheren Durchmesser zurückgezogen.

Es scheint, daß die Flecken zuweilen noch viel größer werden können als die hier erwähnten. So erzählt Albufaradge in seiner Historia Dynast., daß im Jahre 535 das Licht der Sonne durch 14 Tage verdunkelt war, und daß im Jahre 626 die Hälfte der Sonnenscheibe durch längere Zeit schwarz erschien u. s. w. Wenn man nun auch derartige Schilderungen aus früheren Jahrhunderten nicht ganz wörtlich nehmen darf, so zeigen sie doch, falls sie auf Sonnenflecken hinweisen, von der enormen Größe, die damals diese Gebilde gehabt haben müssen. Auch der berühmte Arzt Averroes von Cordova, der im 12. Jahrhunderte lebte, sah einen großen Sonnenfleck mit freiem Auge; aber die Sache erregte keine Aufmerksamkeit und hatte um so weniger Folge, als er, obschon mit Unrecht, diesen Flecken für den Planeten Merkur hielt. Sonderbarerweise verfiel selbst Kepler noch in denselben Irrtum, als er am 28. Mai des Jahres 1607 einen Flecken in der Sonne bemerkte. Übrigens sind die Fälle, in denen Flecken oder Fleckengruppen mit unbewaffnetem Auge

erkannt werden können, nicht gerade selten, indem dies fast in jeder Sonnenfleckenperiode zur Zeit der Maximalfrequenz (§ 14) ein oder das anderemal eintritt. So sah der oft erwähnte Schwabe in den Jahren 1847 und 1848 je 5, im Jahre 1849 6 verschiedene Flecken oder Fleckengruppen mit freiem Auge, davon einige durch mehrere Tage; ferner 4 im Jahre 1859 und im Jahre 1860 sogar 9 u. s. w. Er hält eine Ausdehnung von 50″ für nötig zur Wahrnehmbarkeit eines Fleckens mit freiem Auge, während Tissot glaubt, daß bereits ein Durchmesser von 30″ dazu ausreiche.

§ 13. (Farbe und Struktur der Flecken.) So dunkel uns auch die Sonnenflecken und insbesondere die Kerne derselben auf den ersten Blick erscheinen, so sind sie doch nicht vollkommen schwarz, sondern nur weniger leuchtende Stellen der Sonnenfläche, die aber immerhin noch bedeutende Lichtquantitäten ausstrahlen. Die Untersuchungen von Langley haben nämlich zu dem Resultate geführt, daß das Licht der Kerne noch immer die 500fache Intensität des Vollmondlichtes besitzt. Man hält die Flecken bloß des Kontrastes wegen für schwarz; alle Sonnenbeobachter erwähnen öfter Fälle, in denen eine rotbraune Färbung unverkennbar hervortrat. Dieselbe ist am auffallendsten dann, wenn wie am 16. März 1858 einzelne Sonnenflecken diese Färbung entschiedener zeigen als andere gleichzeitig auf der Sonnenscheibe befindliche. Bei einer solchen Gelegenheit schienen Hallaschka im Jahre 1819 sogar 2 nebeneinander liegende Sonnenflecken einander teilweise zu decken, ein Phänomen, daß auch im Jahre 1816 Raschig in Dresden, am 12. März 1864 der Herausgeber und am 21. April 1869 J. Haag in Wien, ferner am 6. und 7. Mai 1871 J. Birmingham in Millbrook beobachteten. Die rotbraune Färbung ist übrigens auch dann bemerkbar, wenn bei sonst ruhiger Luft die Sonne durch so dichten Nebel scheint, daß man sie, ohne ein Blendglas vorzustecken, beobachten kann. Ferner kann man sich jederzeit sehr leicht davon überzeugen, daß die Sonnenflecken in der That nicht vollkommen schwarz sind, wenn man das im Fernrohre erzeugte Sonnenbild auf ein weißes Papier projiziert: dann lehrt ein einziger Blick, daß sie rotbraun sind.

Die Mannigfaltigkeit der Formen, in denen die Sonnenflecken sich zeigen, mag sich dem Leser aus den auf Tafel III zusammengestellten Abbildungen einiger typischen Erscheinungen dieser Art ergeben.

Figur 1 und 2 sind die gewöhnliche Form, in welcher Sonnenflecken von mittlerer Größe in einem Fernrohre von mäßigen Dimensionen erscheinen, während Fig. 6 eine ausgedehnte Fleckengruppe darstellt, die J. F. Schmidt am 25. April 1845 beobachtete. Dieselbe hatte eine Länge von 5′ oder beiläufig 210 000 km und war bequem mit freiem Auge sichtbar.

Was die Penumbra der Flecken betrifft, so ist dieselbe selten an allen Stellen gleichförmig grau gefärbt, indem die dem Kerne zunächst liegenden Partien meist etwas heller erscheinen als die äußeren Ränder. Außerdem hat

nach den Untersuchungen von Langley nicht nur der Hof, sondern auch der Kern der Sonnenflecken eine spiralige Struktur, indem beide aus dicht aneinandergereihten, in strahlenförmigen Kurven geordneten Fäden bestehen. Diese Fäden haben stets die Tendenz, an ihren inneren Enden heller zu werden, und dies bedingt im Hofe das oben erwähnte Phänomen seines Hellerwerdens gegen den Kern zu, im Kerne hingegen das Auftreten isolierter heller Punkte in seinem Innern.

Die eben beschriebene spiralige Struktur ist im allgemeinen bloß in starken Fernrohren sichtbar und tritt nur ausnahmsweise auch in schwächeren deutlich hervor. Dies war z. B. der Fall bei dem merkwürdigen, nach einer Zeichnung von Secchi (Fig. 3) dargestellten Sonnenflecken vom 5. Mai 1854. Ein anderes Beispiel hierfür bot ein großer Flecken, der im April 1863 auf der Mitte der Sonnenscheibe stand und nach von Prof. A. Weiß in Wien ausgeführten Zeichnungen am 14. und 15. April die Fig. 4 und 5 ersichtlichen Gestalten entwickelte, aus denen auch die große Veränderlichkeit dieser Phänomene zu entnehmen ist. Hier ließ übrigens nur der eine Rand die spiralige Streifung erkennen. Die stärksten Windungen der Spiralen des Hofes fielen mit den Zacken des Kernfleckens zusammen. Dieser Flecken, sowie der früher besprochene (Fig. 3), zeigte überdies auch die zuerst von Daves 1852 beschriebenen dunkleren Stellen im Innern des Kernes sehr deutlich. Die Partie a vom 14. April ist in einer Nebenzeichnung mittels stärkerer Vergrößerung in ihrem ungemein reichhaltigen Detail dargestellt.

§ 14. (Periodizität der Flecken.) Mehr als zwei Jahrhunderte waren seit der Entdeckung der Sonnenflecken verflossen, und noch hatte man keine Spur irgend einer Gesetzmäßigkeit im Auftreten derselben bemerkt; man wußte bloß, daß die Sonne zuweilen tage-, ja wochenlang entweder ganz oder doch nahezu fleckenfrei sei, und daß es ebenso Zeiten gebe, in denen sie an vielen Stellen von Flecken überdeckt werde. Daß diese Erscheinungen in regelmäßiger Folge wiederkehren, hatte wohl zu Ende des vorigen Jahrhunderts Christian Horrebow vermutet, aber nichts darüber publiziert; es blieb übrigens zweifelsohne nur deshalb so lange verborgen, weil früher kein Beobachter daran dachte, den Fleckenbestand der Sonne nach einem gewissen Systeme zu notieren. Dies blieb Schwabe in Dessau vorbehalten, welcher von 1826 an bis zu seinem Tode durch mehr als 40 Jahre unermüdet die auf der Sonne vorgehenden Veränderungen beobachtete und dafür bereits im Jahre 1843 durch die Entdeckung der Periodizität ihrer Flecken belohnt wurde. Diese äußerst merkwürdige, für die Erkenntnis der physischen Beschaffenheit unseres Centralkörpers epochemachende Entdeckung teilte er als Folgerung aus 16jährigen Beobachtungen in einem vom 31. Dezember 1843 datierten Schreiben in den „Astronomischen Nachrichten" mit und gab als ungefähre Dauer des Zeitraumes, innerhalb dessen der Fleckenbestand von einem Minimum zu einem Maximum sich erhebt und wieder zu einem Minimum herabsinkt, 10 Jahre an. Der allgemeine Verlauf des Sonnenfleckenphänomens

läßt sich aus den folgenden vollständigen Aufzeichnungen Schwabe's leicht überblicken.

Jahr.	Zahl der Beob.-Tage.	Zahl sämtl. Fleckengruppen.	Zahl d. flecken-freien Tage.	Jahr.	Zahl der Beob.-Tage.	Zahl sämtl. Fleckengruppen.	Zahl d. flecken-freien Tage.
1826	277	118	22	1848	278	330	0
1827	273	161	2	1849	285	238	0
1828	282	225	0	1850	308	186	2
1829	244	199	0	1851	308	151	0
1830	217	190	1	1852	337	125	2
1831	239	149	3	1853	299	91	4
1832	270	84	49	1854	334	67	65
1833	267	33	139	1855	313	38	146
1834	273	51	120	1856	321	34	193
1835	244	173	18	1857	324	98	52
1836	200	272	0	1858	335	202	0
1837	168	333	0	1859	343	205	0
1838	202	282	0	1860	332	211	0
1839	205	162	0	1861	322	204	0
1840	263	152	3	1862	317	160	3
1841	283	102	15	1863	330	124	2
1842	307	68	64	1864	325	130	4
1843	324	34	149	1865	307	93	26
1844	320	52	111	1866	349	45	76
1845	332	114	29	1867	312	25	195
1846	314	157	1	1868	301	101	23
1847	276	257	0				

Diese Zahlen sind wohl ohne weitere Bemerkung für das Stattfinden der Periodizität beweisend genug, und es sei daher nur noch erwähnt, daß in den Jahren der kleinsten Frequenz nicht nur weniger Flecken und Fleckengruppen auftreten, sondern auch nur kleine unansehnliche vorhanden sind, während in den Jahren des häufigen Vorkommens großartige Flecken vorherrschen, so daß der Gang der oben angeführten Werte noch entschiedener wäre, wenn man statt der Fleckenzahl die von ihnen bedeckte Area in Rechnung gezogen hätte.

Die Thatsache der Peridiozität der Sonnenflecken wurde nahezu durch ein volles Jahrzehnt teils ignoriert, teils heftig bestritten, bis R. Wolf, damals in Bern, später Direktor der Sternwarte in Zürich, seine Untersuchungen über diesen Gegenstand begann. Er setzte mit Zuhilfenahme der Beobachtungen früherer Jahrhunderte, die er aus den verschiedensten Quellen aufs sorgfältigste sammelte, die Dauer der Periode auf $11^1/_9$ Jahre fest und gelangte nach jahrelangen mühevollen Arbeiten endlich glücklich dahin, sämtliche Perioden, die seit der Entdeckung der Sonnenflecken bereits verflossen sind, nachzuweisen und die Epochen, auf welche die jeweiligen Maxima und Minima des Fleckenbestandes fielen, innerhalb enger Grenzen anzugeben. Diese Epochen sind:

Maximum.		Minimum.	
Jahr.	Unsicherheit in Jahren.	Jahr.	Unsicherheit in Jahren.
1615·5	± 1·5	1610·8	± 0·4
1626·0	1·0	1619·0	1·5
1639·5	1·0	1634·0	1·0
1649·0	1·5	1645·0	1·0
1660·0	2·0	1655·0	2·0
1675·0	± 2·0	1666·0	± 2·0

Maximum.		Minimum.	
Jahr.	Unsicherheit in Jahren.	Jahr.	Unsicherheit in Jahren.
1685·0	± 1·5	1679·5	± 2·0
1693·0	2·0	1689·5	2·0
1705·5	1·0	1698·9	2·0
1718·2	1·0	1712·0	1·0
1727·5	1·0	1723·5	1·0
1738·7	1·0	1734·0	1·0
1750·3	1·0	1745·0	1·0
1761·5	0·5	1755·2	0·5
1769·7	0·5	1766·5	0·5
1778·4	0·5	1775·5	0·5
1788·1	0·5	1784·7	0·5
1804·0	1·0	1798·3	0·5
1816·4	0·5	1810·6	0·5
1829·9	1·0	1823·3	0·5
1837·2	0·5	1833·9	0·2
1848·1	0·5	1843·5	0·2
1860·1	0·2	1856·0	0·2
1870·6	0·1	1867·2	0·1
1883·9	± 0·1	1878·9	0·1
		1889·6	± 0·1

Aus diesem Tableau erkennt man sofort, daß die Dauer einer Periode nicht vollkommen konstant ist, sondern um den Wert von $11^1/_9$ Jahren als mittleren schwankt und von diesem um mehrere Jahre abweichen kann. Ferner ersieht man auch, daß das Aufsteigen der Sonnenfleckenkurve vom Minimum zum Maximum viel rascher erfolgt als das Herabsinken derselben vom Maximum zum Minimum, indem die erstere Periode im Mittel nur 4·6, die letztere hingegen 6·5 Jahre beträgt.

Außerdem hat sich aus den mühevollen Untersuchungen Wolf's noch das bemerkenswerte Resultat ergeben, daß etwa 2 Jahre nach dem Hauptmaximum ein sekundäres Maximum auftritt, und daß bei einer längeren Dauer der Periode die Maxima und Minima nicht so fleckenreich als bei einer kürzeren sind, mit anderen Worten: daß eine größere Thätigkeit und Energie auf der Sonne kürzere Perioden bedinge.

Wolf hat seine mit großem Zeitaufwande berechnete Reihe von 1440 monatlichen Relativzahlen der Fleckenhäufigkeit für die 120 Jahre von 1751 bis einschließlich 1870 auch zu der interessanten Untersuchung benutzt, ob außer der $11^1/_9$jährigen Hauptperiode sich vielleicht noch eine andere sekundäre Periode der Häufigkeit in diesem Phänomene nachweisen lasse. Zu diesem Zwecke ordnete er seine Relativzahlen successive nach den Perioden von 8 Jahren 6 Monate, 8 Jahren 8 Monate, 8 Jahren 10 Monate u. s. f. bis 12 Jahre 6 Monate und nahm dann aus den für jede Periode erhaltenen Zahlen Mittelwerte. Aus den so ausgeglichenen Reihen ergab sich das höchst beachtenswerte Resultat, daß in der That noch eine $8^1/_3$ und eine sehr nahe 10jährige sekundäre Periode in der Häufigkeit der Sonnenflecken auftreten und daß sie durch ihre Kombination mit der Periode von $11^1/_9$ Jahren die starken Schwankungen in der Länge und Intensität der Maxima und Minima hervorrufen. Von einer vierten etwa

12jährigen Periode, welche ebenfalls von mehreren Forschern aufgestellt wurde, zeigte sich keine Spur, hingegen ist jedenfalls noch eine größere vorhanden, zu deren genauerer Bestimmung aber das vorhandene Material nicht ausreicht, da man für deren Dauer mit nahezu gleicher Wahrscheinlichkeit 67, nahezu 80, oder auch 100 Jahre annehmen kann.

§ 15. (Zone der Sonnenflecken.) Bereits Scheiner, einer der ersten Beobachter von Sonnenflecken, machte die Bemerkung, daß dieselben nur in einem Gürtel von 30° bis 40° zu beiden Seiten des Sonnen-Äquators vorkommen. Heliographische Breiten von 40° überschreiten die Flecken sehr selten, und die größte bis jetzt mit Sicherheit nachgewiesene Entfernung der Flecken vom Sonnen-Äquator beläuft sich auf 51° (nördlich), in welcher C. H. F. Peters, damals in Neapel, später Direktor der Sternwarte in Clinton (U. S.), Mitte Juni 1846 eine Fleckengruppe erscheinen sah.

Bis in die Mitte unseres Jahrhundertes war dies alles, was man über die Verteilung der Flecken auf der Sonnenoberfläche zu sagen wußte, da die früheren Beobachter es als selbstverständlich betrachteten, daß in dem Erscheinen dieser Gebilde Regellosigkeit herrsche. Erst Carrington wurde durch die Reduktion seiner zwischen den Jahren 1854—1860 angestellten Fleckenbeobachtungen zu der bemerkenswerten Entdeckung geleitet, daß in den dem Minimum des Jahres 1856 vorangehenden Jahren alle Flecken innerhalb eines Gürtels von 20° südlicher bis 20° nördlicher heliographischer Breite auftraten, kurz nach der Minimum-Epoche aber die Sachlage sich vollständig veränderte, indem zwei neue Fleckenzonen zwischen dem 20sten bis 40sten Grad nördlicher und südlicher Breite entstanden, wodurch die Gegend des Äquators auf einmal fleckenfrei wurde. Allein bereits in den folgenden Jahren zeigten diese beiden Gürtel das Streben, sich wieder gegenseitig zu nähern, und dies dauerte nach den eingehenden Untersuchungen von Spörer bis zum folgenden Minimum des Jahres 1867 fort, so daß um die Zeit desselben neuerdings alle Flecken innerhalb eines einzigen Gürtels von 20° südlicher bis 20° nördlicher Breite auftraten. Kurze Zeit darauf bildeten sich abermals zwei neue Fleckenzonen zwischen 20° und 40° heliographischer Breite. Da nun Carrington aus den Beobachtungen von C. H. F. Peters, und Wolf auch aus denen von Böhm ein ähnliches Verhalten der Sonnenflecken während der beiden früheren Minimum-Epochen der Jahre 1844 und 1833 konstatiert und auch bei den beiden letzten Minimis von 1878 und 1890 sich wieder ganz ähnliche Erscheinungen gezeigt haben, scheint dies seltsame Spiel in jeder Sonnenfleckenperiode sich regelmäßig zu wiederholen. Dies veranlaßte Wolf bereits im Jahre 1861, die ganze Erscheinung mit Strömungen zu vergleichen, welche periodisch von beiden Polen der Sonne nach dem Äquator gehen. Je nach einem Minimum beginnen solche Strömungen, steigern sich bei gegenseitiger Annäherung in ihren uns als Flecken und Fackeln sichtbar werdenden Effekten, bis ein gewisses Maximum der Spannung erreicht ist und nun eine Ausgleichung beginnt, die zur Zeit des Minimums als

beendet betrachtet werden kann. Die Flecken vor dem Minimum wären so die letzten Spuren der erlöschenden alten, die nach dem Minimum die ersten Wirkungen der neuen Strömungen.

§ 16. (Gesetze der Fleckenbildung.) Schwabe hatte schon im Jahre 1840 bei seinen Fleckenbeobachtungen die Bemerkung gemacht, daß diese Gebilde innerhalb des Gürtels, in welchem sie erscheinen, nicht ganz gesetzlos auftreten und wieder verschwinden, sondern daß dabei gewisse Regeln eingehalten werden, die er bei der Mitteilung seiner Sonnenbeobachtungen vom Jahre 1842 näher präzisierte. Fast genau dieselben Schlüsse zog im Jahre 1862 C. H. F. Peters aus seinen 1845 und 1846 in Neapel angestellten Sonnenbeobachtungen. Beide Forscher stellen folgende Sätze auf.

1. Entsteht in der Nähe eines schon vorhandenen Fleckens ein neuer, so geschieht dies gewöhnlich auf der östlichen Seite des früheren. Ebenso vergrößern sich die Gruppen durch Hinzutreten neuer Flecken am östlichen Teile. Da aber die östliche Seite in Bezug auf die Fixsterne (oder auch auf die Erde) erst später in dieselbe heliozentrische Lage kommt als die westliche, also scheinbar die nachfolgende ist, kann man obigen Satz auch so ausdrücken: Die Neubildung erfolgt gewöhnlich auf der nachfolgenden Seite schon vorhandener Flecken.

2. In Fleckengruppen fangen die westlichen oder nach der andern Sprechweise die vorangehenden Flecken zuerst an, sich aufzulösen. Im Zusammenhange damit steht auch die Erscheinung, daß, während die westlichen Flecken einer Gruppe an Größe ab-, die östlichen häufig an Größe zunehmen.

3. Größere Flecken sind meist von kleineren Flecken (von Schwabe Nebenpunkte genannt) begleitet, und diese letzteren finden sich größtenteils auf der östlichen Seite des Hauptfleckens.

Faßt man diese Sätze zusammen, so scheinen sie sämtlich zu dem bemerkenswerten Schlusse zu führen, daß auf der Sonnenoberfläche ein Fortschreiten der fleckenbildenden Zustände in einer der Rotationsbewegung entgegengesetzten Richtung vorhanden sei. Es ist übrigens nicht unmöglich, daß mit dieser Erscheinung eine andere in Verbindung steht, auf welche Dr. Carl in München aufmerksam machte, nämlich, daß in den Jahren 1859—1863 auf der von uns abgewendeten Seite der Sonne viel mehr Flecken entstanden und verschwunden sind als auf der uns zugekehrten. Dieses einseitige Auftreten der Flecken fand nach Schwabe auch in früheren Jahren statt und trat besonders in den Maximum-Jahren 1828 und 1848 auf. Schwabe bemerkt überdies, daß der Ort der stärksten Flecken-Entwickelung um die Sonne herumzugehen scheine, und wenn man erwägt, daß das Verhältnis der auf der sichtbaren Seite der Sonne entstandenen Flecken zu den überhaupt vorhandenen nach den Berechnungen von Dr. Carl am Ende der oben angegebenen Epoche im Zunehmen begriffen war, so läßt sich mit großer Wahrscheinlichkeit ein Zusammenhang des einseitigen Auftretens der Flecken mit der Periode ihrer Frequenz in der Art annehmen, daß zugleich mit

dem Minimum in der Häufigkeit der Flecken ein Minimum des Entstehens und Verschwindens derselben auf der uns zugewendeten Sonnenseite eintreten würde.

Schwabe hat auch gefunden, daß die kleinen Flecken gewöhnlich paarweise vorkommen, und wiederholt darauf hingewiesen, daß sehr oft längere Zeit hindurch die eine Sonnenhalbkugel durch größeren Fleckenreichtum vor der andern sich auszeichnet, wie z. B. im Jahre 1858 die südliche. Außerdem hat Spörer gezeigt, daß in den Jahren 1856 und 1867 das Minimum des Fleckenbestandes auf der südlichen Halbkugel früher erreicht wurde als auf der nördlichen, und daß das darauf folgende Maximum des Jahres 1875 ebenfalls auf der südlichen Halbkugel früher eintrat. Beim Maximum des Jahres 1860 trat dieses Verhältnis wieder entschieden hervor. De la Rue, Löwy und Stewart endlich haben durch ihre Untersuchungen wahrscheinlich gemacht, daß Flecken derselben Periode eine Tendenz zeigen, an den entgegengesetzten Enden desselben Sonnendurchmessers aufzutreten.

§ 17. (Rotation der Sonne.) Es wurde bereits oben bemerkt, daß alle längere Zeit andauernden Flecken sich in der Richtung von E gegen W auf der Sonnenscheibe fortbewegen. Dies kann nur von einer Rotationsbewegung der Sonne selbst kommen, und man kann sich daher der Flecken als eines Mittels bedienen, die Umdrehung der Sonne um ihre Achse und zugleich die Lage dieser Achse im Weltraume zu bestimmen. Auch machte man diesen Versuch sehr bald nach der Entdeckung der Sonnenflecken: die Sonne war unter allen Gestirnen das erste, dessen Rotation man auf diese Weise erkannt hat.

Man bemerkte bald, daß die Wege, welche die Flecken auf der Sonnenscheibe beschreiben, in verschiedenen Jahreszeiten auch eine verschiedene Gestalt und Krümmung haben. Am Ende des ersten Drittels des Juni und des Dezember erscheinen sie als gerade, in allen andern Jahreszeiten als krumme Linien und zwar wenden jene Wege ihre erhabene oder konvexe Seite ein halbes Jahr gegen Nord oder aufwärts und die folgenden sechs Monate gegen Süd oder abwärts. Ihre stärkste Krümmung nach oben haben sie im August und nach unten im Februar. Endlich bemerkt man noch, daß die Zeit zwischen zwei nächsten Durchgängen der Flecken durch denselben östlichen oder westlichen Rand der Sonne nahe 27 Tage betrage. Diese Beobachtungen reichen schon hin, uns mit den Umständen der Rotation der Sonne um ihre Achse wenigstens im allgemeinen bekannt zu machen.

Wenn die Sonne sich um ihre Achse dreht, so müssen alle Punkte ihrer Oberfläche, also auch die Sonnenflecken, Kreise beschreiben, deren Ebenen auf dieser Achse senkrecht stehen und deren Mittelpunkte alle in dieser Achse liegen. Von diesen Kreisen wird derjenige, der durch den Mittelpunkt der Sonnenkugel geht oder der gleich weit von den beiden Polen der Achse entfernt ist, der größte sein, und wir werden ihn daher analog mit den Bezeichnungen auf der Erde, den Sonnen-Äquator nennen können. Dieser größte Kreis der Sonne und somit auch alle andern mit ihm parallelen Kreise der Sonnenflecken werden aber den

Beobachtern auf der Erde unter verschiedenen Gestalten erscheinen können, und zwar 1. als eine gerade Linie, wenn wir nur die Kante des Kreises sehen, oder wenn die Ebene des Sonnen-Äquators mit der Ekliptik zusammenfällt; 2. als ein Kreis, wenn unsere Gesichtslinie auf dem Sonnen-Äquator senkrecht steht, oder wenn der Sonnen-Äquator gegen die Ekliptik unter einem Winkel von 90° geneigt ist, und endlich 3. als eine Ellipse, wenn wir den Sonnen-Äquator schief sehen, oder wenn seine Neigung gegen die Ekliptik größer als Null und kleiner als 90° ist.

Der letzte dieser drei Fälle ist der, in welchem sich die Erde in Beziehung auf die Sonne befindet. Wir sehen die an sich kreisförmigen Bahnen der Sonnenflecken im allgemeinen als Ellipsen, also müssen sie und daher auch der ihnen allen parallele Äquator in einer gegen unser Auge schiefen Lage stehen. Da aber unser Auge selbst sich samt der Erde um die Sonne bewegt, so wird die Lage des Sonnen-Äquators gegen uns eine veränderliche sein, selbst wenn sie gegen die Ekliptik fest und unveränderlich ist. Da ferner der Äquator, dessen Ebene man sich wie eine endlose Tafel nach allen Seiten unbegrenzt verlängert denken kann, mit der Ebene der Ekliptik, in welcher sich die Erde bewegt, nicht zusammenfällt, so wird die Erde während ihrer Bewegung um die Sonne ein halbes Jahr über und ebenso lange unter diesem Äquator, und nur zweimal im Jahre in der Ebene desselben sich aufhalten. In diesen beiden Momenten werden uns die Bahnen der Flecken als gerade Linien erscheinen, und da dies, wie gesagt, am 10. Juni und am 10. Dezember geschieht, wo die Länge der Erde, von der Sonne gesehen, 260° und 80° beträgt, so muß die durch die Sonne gehende Knotenlinie des Sonnen-Äquators mit der Ekliptik auch dieselbe Lage haben. Kennt man aber einmal die Durchschnittslinie beider Ebenen, so wird man durch einige leichte geometrische Betrachtungen auch bald den Winkel finden, unter welchem jene Bahnen gegen die Ekliptik geneigt sind. Man sieht, daß die Beobachtung der größten Krümmungen dieser Kurven, im Februar und August, dazu vorzüglich geschickt sein wird. Auf diese Weise hat man gefunden, daß die Länge des aufsteigenden Knotens des Sonnen-Äquators mit der Ekliptik 80°, und daß die gegenseitige Neigung dieser beiden Ebenen 7° beträgt, wodurch nun die Lage des Sonnen-Äquators im Weltraume bestimmt ist.

Es bleibt jetzt noch die Beantwortung der Frage übrig, in welcher Zeit sich die Sonne um ihre Achse bewegt.

Oben wurde erwähnt, daß die Flecken nach beiläufig 27 Tagen wieder dieselbe Lage auf der Sonnenoberfläche einnehmen. Dies ist aber noch nicht die wahre Rotationszeit der Sonne; denn da die Erde in ihrer jährlichen Bewegung in 27 Tagen auch nahe 27° zurücklegt, so muß der Flecken während dieser Zeit nicht bloß den Umfang der Sonnenkugel, nämlich nicht bloß 360°, sondern noch 27° mehr zurückgelegt haben, um das zweite Mal an derselben Stelle der Sonne zu erscheinen, so daß man die Proportion hat:

$$387^0 : 360^0 = 27^T : x^T$$

hieraus folgt, daß die Umlaufszeit (x) der Sonne um ihre Achse beiläufig 25 Tagen gleich ist.

§ 18. (Eigenbewegung der Flecken.) Übrigens müssen wir bemerken, daß die Astronomen noch immer weder die Lage des Sonnen-Äquators noch auch die Rotationszeit der Sonne genau kennen, weil die Flecken außer Gestaltsänderungen auch nicht unbeträchtliche gesetzmäßige Eigenbewegungen zeigen. Dies hatte bereits Scheiner erkannt, und es wurde auch nach ihm noch von Hevel, Silberschlag, Schröter, Böhm u. a. ausgesprochen, daß Flecken in der Nähe des Äquators eine kleinere Rotationsdauer für die Sonne ergeben als Flecken in höheren Breiten. Allein die Beobachtungen dieser Männer kamen bald ganz in Vergessenheit, da man es als selbstverständlich betrachtete, daß die Sonnenflecken nur regellose, nicht aber gesetzmäßige Bewegungen besitzen könnten. Erst als C. H. F. Peters und kurz darauf Carrington diese Thatsache bei der Berechnung ihrer Beobachtungen von neuem entdeckten und die Zusammenstellung anderer Berechnungen die schönste Bestätigung hierfür ergab, schenkte man dieser auffallenden Erscheinung die gebührende Beachtung. Namentlich Spörer hat seit einer langen Reihe von Jahren die Bewegungen der Sonnenflecken eingehend studiert und ist durch Zusammenfassung einer elfjährigen Beobachtungsreihe (1861—1871) zu dem Resultate gelangt, daß der tägliche Rotationswinkel (ξ) eines Fleckens sich durch die einfache Formel, die er seither bei allen seinen Untersuchungen festgehalten hat, darstellen läßt:

$$\xi = 8{\cdot}548^0 + 5{\cdot}798^0 \cos b$$

wobei b die heliocentrische Breite des Fleckens bedeutet. Fast dasselbe Resultat, nämlich:

$$\xi = 8{\cdot}582^0 + 5{\cdot}912^0 \cos b$$

hatte auch C. H. F. Peters aus der Diskussion seiner Sonnenflecken-Beobachtungen der Jahre 1845 und 1846 gezogen. Faye hingegen berechnete aus den Beobachtungen Carrington's die folgende Formel:

$$\xi = 11{\cdot}672^0 + 2{\cdot}622^0 \cos^2 b$$

wobei er jedoch vorher manche Korrektionen an die Beobachtungen anbrachte. Es giebt übrigens auch diese Formel beiläufig dieselbe Rotationsdauer für den Äquator wie die beiden früheren: nur nimmt bei ihr diese Dauer bei der Annäherung an die Pole viel langsamer ab.

Die oben angeführte Formel von Spörer liefert für den täglichen Rotationswinkel und die daraus folgende Rotationszeit der Sonne in den verschiedenen heliocentrischen Breiten, in welchen gewöhnlich Flecken vorkommen, folgende Werte:

Heliocentrische Breite.	Täglicher Rotationswinkel.	Rotationsdauer in Tagen.
0^0	$14{\cdot}346^0$	25·09
$\pm$ 5	14 324	25·13
10	14·258	25·25

Heliocentrische Breite.	Täglicher Rotationswinkel.	Rotationsdauer in Tagen.
± 15°	14·148°	25·44
20	13·996	25·72
25	13·803	26·08
30	13·569	26·53
35	13·297	27·07
± 40	12·989	27·72

Die Zunahme der Rotationsdauer mit wachsender heliographischer Breite erstreckt sich übrigens auch über jene Zonen hinaus, bis auf welche die obige Tafel fortgeführt ist, wie die Flecken zeigen, die hin und wieder in großen heliographischen Breiten auftauchen. So würde beispielsweise aus den Beobachtungen der von C. H. F. Peters im Juni 1846 in 51° nördlicher Breite gesehenen Fleckengruppe (§ 15) für die Rotationsdauer der Sonne eine Periode von 28·25 Tagen sich herausstellen.

Es muß jedoch ausdrücklich hervorgehoben werden, daß die Flecken nebst ihren gesetzmäßigen häufig auch noch sehr bedeutende regellose Bewegungen besitzen, und daß diese letzteren bei nahe aneinander liegenden Flecken oft durch ein rasches Auseinanderweichen oder Zusammenrücken leicht kenntlich werden. Solche unregelmäßige Bewegungen treten nach Secchi und Spörer ein, so oft ein Flecken eine bedeutende Formänderung erleidet, und sind besonders vehement während des Stadiums der Ausbildung und des Verschwindens eines Fleckens oder einer Fleckengruppe. Wir verdanken überdies Spörer noch die interessante Entdeckung, daß die Bewegung der Flecken im Verlaufe einer Sonnenfleckenperiode Änderungen unterworfen zu sein scheint, indem beispielsweise im Jahre 1866, welches dem Jahre des Fleckenminimums voranging, sich so gut wie keine Abhängigkeit des Rotationswinkels von der Breite nachweisen läßt.

Außer diesen, in einer zum Sonnen-Äquator mehr oder minder parallelen Richtung vor sich gehenden, Bewegungen besitzen aber die Flecken auch solche, welche sie zu dem Sonnen-Äquator hin- oder von demselben wegtreiben: doch ist bis jetzt eine entschiedene Gesetzmäßigkeit in diesen Bewegungen noch nicht festgestellt worden. Es scheint nur, daß Flecken in der Nähe des Äquators bald demselben sich nähern, bald von ihm sich entfernen, während jene höherer Breiten fast ausnahmelos ein Aufrücken gegen den nächsten Pol erkennen lassen.

Die bisher erwähnten progressiven Bewegungen sind jedoch nicht die einzigen, welche die Flecken ausführen; man hat auch drehende Bewegungen, wiewohl seltener wahrgenommen. Ein auffallendes Beispiel hierfür sah Dawes an einem Flecken zwischen dem 17. und 23. Januar 1852, in welcher Zeit sich derselbe ohne Gestaltänderung etwa 180° um den kleinen schwarzen Kern drehte (Fig. 46, 47). Solche Drehungen, wenn auch nicht um eine volle halbe Peripherie, an denen zum Teil auch die Penumbra teilnahm, hat auch Flammarion im Juli und August 1894 mehrfach beobachtet: sie weisen ebenso auf Wirbelwinde in der Fleckenregion des Sonnenkörpers hin, wie die spiralige Struktur (§ 13) der Flecken.

§ 19. (Spektroskopische Bestimmung der Rotation der Sonne.) Die im vorigen Paragraphen hervorgehobene Abhängigkeit der aus den Fleckenbeobachtungen geschlossenen Rotationszeit von der heliographischen Breite der Sonne ist ein Resultat von so hohem Interesse, daß es wünschenswert erscheint, dasselbe wenn möglich auch auf eine andere Art nachzuweisen. Ein Mittel hierzu bietet uns die Analyse des Sonnenspektrums dar: um dies aber klar zu machen, müssen wir etwas weiter ausholen.

Doppler war der erste, der darauf hinwies, daß, wenn eine Lichtquelle sich rasch vom Beobachter entfernt oder sich demselben rasch nähert, durch diese Bewegung die Länge der Lichtwellen für unser Auge vergrößert oder verkleinert wird, und da bekanntlich die Länge der Lichtwellen die Farbe karakterisiert (§ 5), daß infolgedessen bei einer Entfernung der Lichtquelle die Farbe mehr ins Rote, hingegen bei einer Annäherung mehr ins Violette hinübergreifen müsse.

Fig. 46.

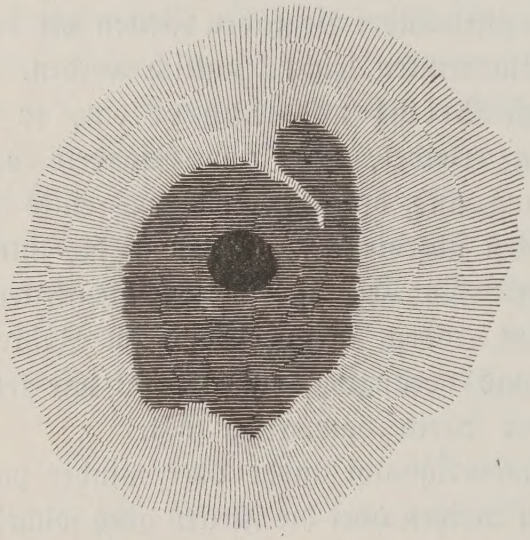
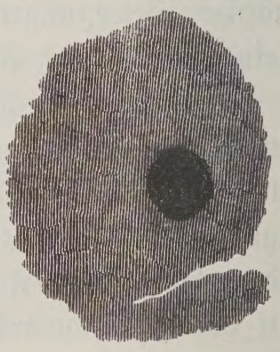


Fig. 47.



Was aber soeben von der Farbe gesagt wurde, gilt natürlich auch von den Spektrallinien: bei einer Annäherung des leuchtenden Objektes müssen sich dieselben gegen das violette Ende des Spektrums verschieben, dagegen bei einer Entfernung gegen das rote Ende.

Durch die Rotation der Sonne um ihre Achse von E nach W bewegen sich nun, wie eine leichte Überlegung zeigt, die Partien am Ostrande der Sonne gerade auf die Erde zu, die am Westrande gerade von ihr weg. Die dem Sonnenspektrum angehörenden Spektrallinien des östlichen Sonnenrandes müssen daher gegen das violette, die westlichen hingegen gegen das rote Ende des Spektrums verschoben erscheinen. Die Geschwindigkeit der Sonnenrotation beträgt allerdings unter der Annahme einer Rotationsdauer von 25 Tagen, die von der Wahrheit nicht allzuweit abweichen dürfte, selbst am Äquator nur 2 km in der Sekunde, ist daher gegen die Geschwindigkeit des Lichtes sehr klein: ebenso

gering wird deshalb auch die Verschiebung der Spektrallinien sein. Sie läßt sich aber trotzdem mit unseren sehr empfindlichen, stark zerstreuenden Spektralapparaten noch wahrnehmen und messen.

Eine sehr ausgedehnte Reihe der diesbezüglichen schwierigen Beobachtungen hat während der Sommer 1887 bis 1889 Dunér ausgeführt, und als Resultat seiner Messungen für den täglichen Rotationswinkel ξ und die daraus folgende Rotationsdauer der Sonne in den verschiedenen heliographischen Breiten nachstehende Werte gefunden:

Heliocentrische Breite.	Täglicher Rotationswinkel.	Rotationsdauer in Tagen.
0·4°	14·14°	25·46
15·0	13·66	26·35
30·0	13·06	27·56
45·0	11·99	30·02
60·0	10·62	33·90
74·8	9·34	38·54

Diese Beobachtungen bestätigen vollkommen das durch Fleckenbeobachtungen erhaltene Resultat, daß die Rotationsdauer der oberen Schichten des Sonnenkörpers am Äquator am geringsten ist und sich bei der Annäherung an die Pole stetig vergrößert. Sie reichen jedoch insofern weiter, als sie sich bis auf heliographische Breiten erstrecken, in denen bisher nie ein Flecken gesehen wurde.

Die spektroskopischen Beobachtungen scheinen wohl eine etwas kleinere Rotationsgeschwindigkeit zu ergeben, als die Fleckenbeobachtungen: der Unterschied ist indes kaum größer als die Unsicherheit, die den obigen Zahlen noch anhaftet, wie es denn auch Dunér gelungen ist, durch eine einzige Formel seine eigenen Beobachtungen sowie die oben angeführten Formeln von Spörer, Peters und Faye innerhalb der Grenze der Beobachtungsfehler darzustellen. Diese Formel lautet:

$$\xi = 8{\cdot}596^0 + 5{\cdot}574^0 \cos(\varphi - 7{\cdot}8^0)$$

Ein wesentlich anderes Resultat ergaben die spektroskopischen Beobachtungen, welche Crew fast zu derselben Zeit wie Dunér ausführte. Dieselben liefern einen konstanten, von der Breite unabhängigen täglichen Rotationswinkel $\xi = 13{\cdot}72^0$, was einer Rotationsdauer von 26·24 Tagen entspricht. Seine Beobachtungen sind aber weniger zahlreich als die von Dunér und scheinen auch erheblich unsicherer zu sein.

Die Abhängigkeit der Rotationszeit von der heliographischen Breite beweist das Vorhandensein konstanter Strömungen in der Photosphäre der Sonne, woraus weiter folgt, daß wir die wahren Rotationselemente unseres Zentralkörpers nicht mit Sicherheit ermitteln können, ehe wir die Art und Beschaffenheit dieser Strömungen kennen. Das letztere ist jedoch noch keineswegs der Fall: man hat daher versucht diese Constante unseres Sonnensystemes auf indirekte Art zu bestimmen, worauf wir weiter unten (§ 22) ausführlicher zurückkommen werden.

§ 20. (Entdeckung der Flecken.) Die Sonnenflecken waren den Peruanern schon

zu Zeiten der Inkas bekannt; ebenso besitzen wir auch eine Reihe von Sonnenfleckenbeobachtungen aus China, welche nach Auszügen aus dortigen Annalen durch Williams und Hirayama bis auf das Jahr 188 n. Chr. zurückreichen. Lassen wir jedoch diese Thatsachen, die uns erst durch die Forschungen der Neuzeit bekannt geworden sind, beiseite, so scheinen fast gleichzeitig und unabhängig von einander dieselben Galilei, Johann Fabricius, Christoph Scheiner und der Engländer Harriot, dessen wertvolle Beobachtungen auf dem Festlande sehr lange unbekannt blieben, entdeckt zu haben. Daß sich so viele Astronomen um das Verdienst dieser Entdeckung streiten, darf uns nicht Wunder nehmen, da, wie wir gesehen haben, Sonnenflecken von bedeutender Ausdehnung keineswegs zu den Seltenheiten gehören und infolgedessen Jedem über kurz oder lang die Entdeckung gelingen mußte, der auf den naheliegenden Einfall geraten wäre, das Fernrohr in dieser Richtung anzuwenden.

Das erste Werk, welches über diesen Gegenstand erschien, ist das des Johann Fabricius Phrysius unter dem Titel: Narratio de maculis in sole observatis, Wittenberg, 1611; nach allgemein angenommenen Grundsätzen gebührt daher ihm die Priorität. In diesem Werke erzählt Fabricius, daß er an einem Dezembermorgen des Jahres 1610, oder nach Dr. Berthold am 19. März 1611 einen schwarzen, auf der einen Seite grauen Flecken in der Sonne bemerkt und denselben anfangs für eine Wolke gehalten habe. Nachdem er ihn aber wiederholt und mit verschiedenen Fernrohren immer an derselben Stelle gefunden hatte, fing er an, an der wolkenartigen Natur dieser Erscheinung zu zweifeln. Bald darauf erhob sich die Sonne schon zu sehr über den Horizont, und er konnte sie ohne Gefahr für seine Augen nicht mehr ansehen.*) Nicht ohne eine gewisse Spannung

*) Damals wendete man die gefärbten Plangläser, die man jetzt vor das Okular der Fernrohre stellt, um das Licht der Sonne zu dämpfen, noch nicht an, obwohl man sie bereits lange zu Sonnenbeobachtungen mit unbewaffnetem Auge verwandte. So wissen wir, daß D. Fabricius, der Vater des obigen J. Fabricius, die Sonnenfinsternis von 1590 durch ein aus zwei verschiedenartig gefärbten und über einander gelegten Gläsern zusammengesetztes Blendglas beobachtete und 50 Jahre früher schon Apian von solchen Blendgläsern spricht. Auch Huyghens benützte bei seinen Sonnenbeobachtungen noch einfache Spiegelgläser, die man auf der einen Seite mit Lampenruß ungleich beräucherte und dann mit einem zweiten Glase bedeckte, um die berußte Seite des ersten unversehrt zu erhalten. Sehr bequem ist auch die in neuerer Zeit wieder mehr in Gebrauch gekommene Methode, das vom Fernrohr erzeugte Sonnenbild zu projizieren. Obwohl nun dabei die Fackeln sehr schön hervortreten, ist diese Methode doch nicht anzuwenden, wenn es sich um das feinere Detail der Flecken handelt. Dieses kann man nur durch direktes Sehen erkennen, und zwar sind dazu starke Vergrößerungen, daher Objektive von großen Dimensionen erforderlich. Allein bei letzteren ist die Erhitzung der vorgesteckten Blendgläser so bedeutend, daß sie häufig springen und, selbst wenn dies nicht geschieht, in kurzer Zeit sich so erwärmen, daß man ohne Gefährdung des Auges die Sonne nie mehrere Minuten hindurch unausgesetzt betrachten kann, was doch eben für Detailstudien so wichtig ist. Diesem Übelstande begegnet man am besten durch Einschalten von Polarisations-Apparaten zwischen Objektiv und Okular, und es kommen deshalb unter dem Namen heliofkopische Okulare derartige Vorrichtungen in neuerer Zeit immer allgemeiner

brachte er die folgende Nacht zu, da ihn der Argwohn, daß es sich nur um eine vorübergehende Wolke handeln könnte, noch immer nicht ganz verlassen hatte. Desto größer war seine Freude, als er am folgenden Morgen seinen Gast wieder und beinahe an derselben Stelle der Sonnenscheibe erblickte. Jetzt ließ er die Sonnenstrahlen durch eine kleine Öffnung seines Fensterladens in einem verfinsterten Zimmer auf eine weiße Tafel fallen und konnte auf diese Weise das Bild der Sonne und des Fleckens ganze Tage hindurch beobachten. Er bemerkte bald, daß der Flecken sich von Ost gegen West langsam fortbewege. Auch kamen in den nächsten Tagen noch mehrere andere Flecken zu dem ersten, die alle dieselben Erscheinungen zeigten. Etwas später verschwand der erste Flecken an dem westlichen Rande der Sonne, und nach etwa zwei Wochen sah er ihn an dem östlichen Rande wieder eintreten. Er schloß daraus, daß diese Flecken sich um der Sonne Mittelpunkt bewegen. Seine Freude über diese Entdeckung wurde dadurch etwas vermindert, daß er die Veränderlichkeit der Gestalt dieser Flecken, ja sogar ihr völliges Verschwinden in der Mitte der Sonnenscheibe bemerkte. Dessen ungeachtet zieht er aus seinen Beobachtungen mit Recht den Schluß, daß die Sonne sich um sich selbst drehen müsse, wie dies schon Jordan Bruno (der im Jahre 1600 wegen seiner zu liberalen religiösen Gesinnungen lebendig verbrannt wurde) und später auch Kepler behauptet hatten.

Der Jesuit Christoph Scheiner aus Schwaben suchte die Ehre dieses Fundes für sich zu vindizieren. Er soll den ersten Flecken in Ingolstadt, wo er Professor war, im März 1611 gesehen und ihn seinen Zuhörern gezeigt haben. Die Nachricht davon verbreitete sich, wie er sagt, sehr schnell, und er wurde von mehreren Freunden dringend ersucht, seine Entdeckung bekannt zu machen; allein er ward daran durch die Betrachtung gehindert, daß die Sache mit den Grundsätzen der Philosophie seiner Zeit nicht im Einklange stehe, da Flecken oder Fehler in der Sonne zu sehen, allen bisher gehegten Ideen von diesem Gestirne, dem

in Gebrauch. Dasselbe erreicht man auch dadurch, daß man den Lichtkegel, ehe er in das Okular gelangt, erst auf eine oder mehrere Glasplatten fallen und von diesen reflektieren läßt. Die Intensität des Sonnenlichtes wird übrigens nach Dawes, wenigstens bei Fernrohren von mäßigen Dimensionen bereits genügend abgeschwächt, um die Sonne ohne weiteres Blendglas betrachten zu können, wenn man im Brennpunkte des Objektives statt des Diorphragma eine Metalllamelle mit einer feinen Öffnung einsetzt, so daß nur von einem ganz kleinen Teile der Sonnenoberfläche Licht ins Auge gelangen kann. Mit derartig adjustierten Okularen hat Dawes im Jahre 1852 die bereits erwähnten schwarzen Partieen im eigentlichen Kernflecken aufgefunden. Scheiner bediente sich zu seinen Sonnenbeobachtungen eines eigenen Fernrohres, dessen Objektiv und Okular aus gefärbtem Glase gemacht waren. In ähnlicher Weise haben um die Mitte unseres Jahrhunderts J. Herschel und Foucault wieder die Konstruktion eigener, nur zu Sonnenbeobachtungen dienender Fernrohre angeregt. Der erstere schlug hierfür einen Reflektor vor, mit einem Spiegel aus konkav geschliffenem Glase, das aber an der Rückseite nicht amalgamiert, sondern matt geschliffen ist; der letztere erreicht dies Ziel durch Überziehen der vorderen Seite des Objektives eines Refraktors mit einer dünnen Silberschicht. Durch einen solchen Überzug von angemessener Dicke erscheint die Sonne als eine tiefblaue Scheibe.

Sinnbilde der höchsten Reinheit widerspreche. Nichtsdestoweniger wollte er es endlich wagen, seine Beobachtungen öffentlich mitzuteilen; aber sein Provinzial, Theodor Busäus, hielt ihn davon zurück, indem er sagte: „Von solchen Dingen habe ich nichts in meinem Aristoteles gelesen; das sind bloße Einbildungen oder Fehler deines Auges oder auch deiner Gläser, mein Sohn, und du wirst besser thun, diese Sachen bei dir zu behalten.“ — Dessen ungeachtet konnte Scheiner nicht ganz schweigen und gab daher seinem Freunde Velser, Bürgermeister von Augsburg, im Dezember 1611 in drei Briefen von seiner Entdeckung Nachricht, welche Briefe dann letzterer im Januar 1612 unter dem Titel Apelles post tabulam drucken ließ.

Galilei scheint nach Plana's Untersuchungen diese Flecken bereits um die Mitte des Jahres 1610 gefunden und auch schon im April 1611 in Rom gezeigt zu haben. Doch veröffentlichte er über diesen Fund nichts, nicht einmal ein Anagramm, was er doch sonst bei allen seinen wichtigeren Entdeckungen gethan hatte, und trat erst dann mit seinen Ansprüchen hervor, als Scheiner's Briefe schon lange veröffentlicht waren. So erhob sich zwischen beiden ein heftiger, jahrelang fortgeführter Prioritätsstreit, in welchem einer den andern des Plagiates beschuldigte, beide aber, was wohl das Merkwürdigste ist, Fabricius völlig ignorierten, der doch zweifelsohne wenigstens vor Scheiner diese Flecken entdeckt hatte. Allein selbst zugegeben, daß sie Galilei einige Wochen früher als Fabricius erblickt habe, so bleibt dem letzteren, und in noch höherem Grade Scheiner der größere Ruhm, diese Gebilde jahrelang zielbewußt und systematisch beobachtet zu haben. Scheiner beobachtete nämlich die Sonnenflecken unausgesetzt bis 1627, um durch dieselben die Rotationselemente der Sonne zu finden, und erkannte auch bereits, wie oben (§ 18) erwähnt wurde, die gesetzmäßigen Bewegungen derselben im allgemeinen richtig. Seine Beobachtungen füllen einen Folioband von 774 Seiten, der 1630 zu Bracciano in Italien unter dem Titel „Rosa Ursina“ erschien.

§ 21. (Zusammenhang zwischen Sonnenflecken und anderen Erscheinungen.) Da die Sonne für die Erde die Hauptquelle von Licht und Wärme ist, liegt der Gedanke nahe, daß die Änderungen, welche auf ihr vorgehen, auch auf die Licht- und Wärmemenge, welche sie der Erde spendet, einwirken werden und dadurch mittelbar auf alle von letzteren abhängigen Größen, als da sind: Witterungsverhältnisse, Fruchtbarkeit ꝛc. W. Herschel glaubte in dem Auftreten vieler Flecken auf der Sonnenfläche die Zeichen einer turbulenten Bewegung der Lichthülle zu erblicken, und da er die Wärme- und Lichtausstrahlung als das Resultat chemischer Prozesse betrachtete, die bei energischen Aktionen auf der Sonne mit größerer Intensität auftreten dürften, so schloß er, daß fleckenreiche und fleckenarme Jahre sich auch durch verhältnismäßig hohe und niedere Temperaturen charakterisieren würden. Da ihm die hierzu nötigen Temperaturbeobachtungen mangelten, so verglich er die Brotpreise der letzten Decennien des vorigen Jahrhunderts in England mit

dem Fleckenreichtume auf der Sonne und fand, daß den fleckenreicheren Jahren durchschnittlich reichere Ernten entsprechen als den fleckenarmen, worin er eine Bestätigung seines Schlusses zu sehen vermeinte, weil nach seiner Ansicht eine größere Wärme größere Fruchtbarkeit bedingt. Gegen diese Ansicht sprachen sich Arago, Secchi und Gautier aus, indem sie hervorhoben, daß das Auftreten vieler Flecken die leuchtende, also wohl auch die wärmende Oberfläche der Sonne vermindere und dadurch einen Ausfall in der mittleren Temperatur bedingen müsse, wobei sich Secchi insbesondere auf seine eigenen Beobachtungen und die anderer stützte, daß die Flecken wirklich weniger Wärme ausstrahlen als der übrige Teil der Sonne. Man wies dies dadurch nach, daß man mittels eines Sonnenokulares von Dawes einmal einen großen Flecken, sodann eine andere Partie der Sonnenfläche auf eine Thermosäule wirken ließ. Gautier suchte seine Ansicht auch numerisch zu begründen, indem er 11jährige Thermometer-Beobachtungen, angestellt an 62 über Europa und Amerika verteilten Beobachtungsstationen, diskutierte und in denselben eine, wiewohl um sehr wenig höhere Mitteltemperatur in fleckenarmen Jahren angedeutet fand. Diese Untersuchungen nahm Wolf im Jahre 1859 nochmals vor und bemerkte bei der Vergleichung des Fleckenstandes mit mittleren Jahrestemperaturen in Berlin, daß die Beobachtungen des vorigen Jahrhunderts Herschel, die des jetzigen aber Gautier Recht geben, jedoch nirgends in entscheidender Weise, sondern stets mit so kleinen Differenzen, daß deren Realität nicht verbürgt werden kann.

In diesem Stadium ruhte die Diskussion bis zum Jahre 1872, wo Meldrum auf der Versammlung der British Association zu Brighton den Gegenstand neuerdings in Anregung brachte, indem er nachzuweisen versuchte, daß sowohl in der Häufigkeit der Cyklonen des Indischen Oceans als auch in den Regenmengen der tropischen Gegenden eine 11jährige Periode vorhanden sei, deren Maxima und Minima mit den Maximis und Minimis der Sonnenflecken zusammenfallen. Seither hat Meldrum seine Untersuchungen dadurch vervollständigt, daß er sie auf die letztverflossenen 13 Sonnenfleckenperioden ausdehnte und bezüglich der Regenmengen in sie auch eine Reihe von Orten der gemäßigten Zone einbezog. Das Resultat seiner umfassenden Arbeit scheint ihm nun in jeder Beziehung seinen früheren Ansichten günstig zu sein. Köppen hingegen unterwarf kurz nach dem Bekanntwerden der ersten Untersuchungen von Meldrum die Temperaturverhältnisse zahlreicher, über die ganze Erde zerstreuter Orte einer eingehenden Diskussion und gelangte dabei zu dem interessanten Resultate, daß, abgesehen von einem Phasenunterschiede von etwa einem Jahre, von 1816 bis 1854 die Temperaturkurve der Sonnenfleckenkurve auffällig parallel läuft, daß hingegen am Ende des vorigen Jahrhunderts eine vollständige Umkehrung der Verhältnisse stattfand. Dies veranlaßte auch Wolf, seine diesbezüglichen früheren Arbeiten wieder vorzunehmen, wobei er zunächst das von Köppen gefundene Resultat, welches mit den Ergebnissen seiner oben mitgeteilten Untersuchungen im

Einklange steht, bestätigt fand. Außerdem bemerkte er aber, daß auch die Regenmengen ein ganz gleiches Verhalten zeigen, daß nämlich von 1723 bis 1766 jedem Sonnenfleckenminimum eine kleinere Regenmenge entsprach als dem vorhergehenden und nachfolgenden Sonnenfleckenmaximum, so daß also um die Mitte des vorigen Jahrhunderts das von Meldrum für die Mitte des gegenwärtigen gefundene Gesetz ebenfalls Giltigkeit hatte, während vor 1723 und nach 1766 eine Umkehrung eintrat. Übrigens zeigen sich nach Wolf auch zu den Zeiten, wo beide Kurven einander im allgemeinen parallel laufen, bedeutende Unterschiede im An- und Absteigen derselben, indem namentlich die Regenminima etwa $1^1/_2$ Jahre früher als die Sonnenfleckenminima, die Maxima hingegen um beiläufig ebensoviel später sich ereignen.

Um ein vollständiges Bild über die verschiedenen tellurischen Phänomene zu liefern, welche man bisher mit der Sonnenfleckenperiode in Zusammenhang zu bringen versuchte, sei noch erwähnt, daß nach Wolf während des Jahrhunderts 1754 bis 1853 die Weinlesen in Nieder-Österreich in fleckenreichen Jahren gewöhnlich etwas später eintraten als in fleckenarmen; daß nach Fritz die periodischen Änderungen der Gletscher möglicherweise von der Sonnenfleckenperiode abhängig sind; daß nach Klein die Zahl der Cirruswolken mit der Zahl der Sonnenflecken steigt und fällt, daß nach Ferrari, Cruls und Faye die Stürme, nach Balfour Stewart die Wasserhöhen der Flüsse, nach Stanley Jevons sogar auch die Hungersnöte u. s. w. mit den Sonnenflecken im Zusammenhange stehen.

Wenn nun auch alle diese Untersuchungen vorläufig noch zu keinem positiven Resultate geführt haben, so verdienen sie doch immerhin eine um so größere Beachtung, als sich in anderen, auf unserem Erdballe wirkenden Kräften in der That ein inniger Zusammenhang mit der Periode der Sonnenflecken nachweisen läßt. Im Jahre 1852 fanden nämlich fast gleichzeitig und von einander unabhängig Sabine, Gautier und Wolf, daß die Sonnenfleckenperiode mit jener zusammenfalle, welche für die magnetischen Variationen aufgefunden worden, und daß nicht nur die Dauer der beiden Perioden dieselbe sei, sondern auch Maximum mit Maximum, Minimum mit Minimum zusammenfalle. Um jedoch den Zusammenhang beider Perioden streng zu erweisen, war noch zu zeigen, daß die jetzige Übereinstimmung nicht bloß ein Werk des Zufalls sei, daß nämlich beide Perioden nicht nur näherungsweise eine gleiche Länge besitzen und gerade zufällig jetzt ein nahes Zusammentreffen der Minima und Maxima stattfinde, sondern daß die Coincidenz auch früher immer eine vollständige gewesen sei. Dieser des weit zerstreuten und mangelhaften Materials wegen äußerst mühevollen Arbeit unterzog sich Wolf und hat mit voller Evidenz nachgewiesen, daß die Periode der magnetischen Variationen der Periode der Sonnenflecken vollkommen parallel läuft, indem jede Störung in der einen auch von einer Störung in der anderen begleitet ist. Wolf hat seine Untersuchungen außerdem

auch auf die Nordlichter ausgedehnt, und in den Erscheinungen derselben ebenfalls eine 11jährige, der Sonnenfleckenperiode ganz entsprechende Periode nachgewiesen.

Im weiteren Verfolge dieses Gegenstandes hat Dr. J. Liznar im Jahre 1892 das Verhalten der einzelnen magnetischen Elemente an den Observatorien zu Petersburg und Pawlowsk während der letztverflossenen Sonnenfleckenperiode (1870—1883) untersucht und ist dabei zu dem bemerkenswerten Resultate gelangt, daß die Deklinationsnadel vom Fleckenmaximum bis zum Fleckenminimum immer mehr nach Osten wanderte, um dann umzukehren und sich wieder bis zum nächsten Maximum nach Westen zu bewegen, und daß die Inklination zur Zeit des Fleckenmaximus am größten, und zur Zeit des Minimums am kleinsten war. Die Intensität des Erdmagnetismus hingegen war zur Zeit des Fleckenmaximums am kleinsten, und am größten zur Zeit des Minimums. Liznar schließt daraus, daß die Variationen des Erdmagnetismus wohl nicht von Veränderungen im magnetischen Zustande der Erde herrühren, sondern eher durch eine ablenkende Kraft verursacht werden, so daß wir in diesen Variationen das Resultat der Wirkungen des Erdmagnetismus und der ablenkenden Kraft beobachten. In dieser Meinung wird er noch dadurch bestärkt, daß nach den Untersuchungen von Hansteen, Lloyd und seinen eigenen die täglichen Variationen der Magnetnadel nicht durch eine direkte, sondern nur durch eine indirekte Wirkung der Sonne erklärt werden können.

Man hat übrigens auch schon mehrfach die Bemerkung gemacht, daß das Hervorbrechen neuer Fleckengruppen oder rasche Veränderungen schon vorhandener mit magnetischen Störungen nahe zusammentreffen. Dieß war unter anderem der Fall im April 1882, wo eine große Fleckengruppe am 11. am östlichen Sonnenrande eintrat, welcher eine anfangs viel kleinere vorausging. Nach den photographischen Aufnahmen auf der Sternwarte in Greenwich bedeckten diese beiden Gruppen zwischen 14. und 23. April die nachstehenden Flächenräume auf der Sonne, ausgedrückt in Millionen Quadratkilometer, wobei man sich gegenwärtig halten möge, daß in dieser Einheit die Oberfläche der gesamten Erde 511 beträgt.

1882	Vorausgehende Gruppe.		Folgende Gruppe.	
	Kern allein.	Ganze Gruppe.	Kern allein.	Ganze Gruppe.
April 14	121	816	1060	6700
" 16	73	471	722	6301
" 17	616	2658	1186	5981
" 18	737	4138	1405	6132
" 20	888	5476	1027	5788
" 21	1329	7129	1290	6359
" 23	505	3184	807	5395

Daraus ersieht man, daß, während in der folgenden Gruppe die Änderungen verhältnismäßig gering waren, die vorausgehende zwischen dem 16. und 17. April sich mächtig entwickelte, und daß dann zwischen dem 20. und 21. wieder eine bedeutende Ausdehnung derselben eintrat. Dementsprechend zeigten die mag-

netischen Apparate zwischen dem 16. und 17. April heftige magnetische Stürme an, denen nach mehreren vergleichsweise ruhigen Tagen am 19. abermals solche folgten, die bis zum 21. dauerten.

Etwas ganz ähnliches ereignete sich am 17. November 1882, wo eine große bequem mit freiem Auge sichtbare Fleckengruppe, die größte, welche seit 1871 aufgetreten war, das Maximum ihrer Entwickelung erreichte. An diesem Tage trat in ganz Europa und Amerika das stärkste magnetische Ungewitter der letzten 30 Jahre auf, welches von einem intensiven Nordlichte begleitet wurde, das in Europa bis zur Südspitze Italiens und auch in Nordamerika sichtbar war.

Außerdem scheinen aber auch noch andere Lichtentwickelungsprozesse auf der Sonne mit den magnetischen Erscheinungen auf der Erde im Zusammenhange zu stehen. So hat man bei den später (§ 26) zu besprechenden Protuberanzen schon mehrfach die Erfahrung gemacht, daß intensive Gaseruptionen auf der Sonne von magnetischen Störungen auf der Erde begleitet sind. Ebenso zeigten nach Hodgson bei einer von ihm und Carrington im Jahre 1859 bemerkten abnormen Lichtentwickelung auf der Sonne (§ 23) die magnetischen Instrumente in Kew eine bedeutende Störung, welcher in der nächsten Nacht ein über die ganze Erde verbreiteter magnetischer Sturm folgte. Dem gegenüber darf allerdings nicht unerwähnt bleiben, daß auch vielfach intensive Eruptionen auf der Sonne beobachtet wurden, welche keinen merkbaren Einfluß auf den Erdmagnetismus ausübten, so daß das oben hervorgehobene Zusammentreffen beider Erscheinungen vielleicht bloß zufällig eintrat.

Man hat sich jedoch nicht begnügt, dem Zusammenhange der Sonnenflecken mit tellurischen Erscheinungen nachzuspüren, sondern ist noch weiter gegangen. So hat Secchi (1873) den Satz aufgestellt, daß der Sonnendurchmesser periodisch variabel und während der Epochen der Fleckenminima am größten sei. Obwohl nun aus einer sehr gründlichen Untersuchung von Auwers hervorging, daß das von Secchi verwendete Material zur Feststellung dieses seltsamen Verhaltens nicht genüge, glaubte Wolf doch in den Maskelyne'schen Bestimmungen des Sonnendurchmessers und P. Rosa in den Beobachtungen anderer Astronomen deutliche Spuren der Fleckenperiode zu erkennen. Dies veranlaßte im Jahre 1886 Auwers, seine früheren Rechnungen durch Einbeziehen mehrerer im ganzen einen Zeitraum von 120 Jahren umfassender Beobachtungsreihen in die Diskussion zu vervollständigen: er kam aber, und zwar jetzt noch entschiedener wieder zu dem Resultate, daß eine derartige Veränderung des Sonnendurchmessers nicht vorhanden sei.

Endlich hat man die Sonnenfleckenperiode auch mit kosmischen Erscheinungen, namentlich mit der Stellung der Planeten in Zusammenhang gebracht. Den Ausgangspunkt dieser Untersuchungen bildete der Umstand, daß die Umlaufszeit Jupiters der Dauer der Fleckenperiode nahezu gleichkommt, was den Gedanken nahe legt, das ganze Phänomen als eine Art Ebbe und Flut zu betrachten,

welche sowohl mit der Annäherung der Planeten an ihr Perihel und Aphel als auch mit den Konjunktionen und Quadraturen derselben steigt und fällt. Der erste, der diesen Gedanken auffaßte, war der schon oft genannte Forscher Wolf. Er fand auch in der That im Verlaufe der Sonnenfleckenkurve mehrere sekundäre Maxima und Minima angedeutet, welche mit dem Venus- und Erdjahre so wie mit dem des Saturn in einem gewissen Zusammenhange zu stehen schienen, woraus er schloß, daß Jupiter den Hauptcharakter der Sonnenfleckenkurve bestimme, Saturn kleine Veränderungen in der Höhe und Länge der Wellen herbeiführe, Erde und Venus aber zunächst die Zacken der Kurve bedingen. Diese Untersuchungen wurden von De la Rue, Stewart und Löwy, ferner von Fritz, Kirkwood, Sellmeier u. a. weiter ausgeführt. Dabei legte Fritz ein Hauptgewicht auf die synodischen Umlaufszeiten der verschiedenen Planeten und vindizierte namentlich auch dem Merkur wegen seiner Nähe an der Sonne und der großen Excentricität seiner Bahn eine bedeutende Rolle. Noch mehr bevorzugte diesen Planeten Kirkwood, welcher außerdem in die Untersuchungen ein neues Element einführte, indem er die Hypothese aufstellte, daß ein bestimmter Meridian der Sonne den planetarischen Einflüssen zugänglicher und infolge dessen der Fleckenbildung günstiger sei als die übrigen. Es gelang ihm unter der Annahme, daß die Rotationszeit dieses Meridianes 24·826 Tage beträgt, nicht nur die mittlere Dauer ($11^1/_9$ Jahre) der Sonnenfleckenperiode auf die Wirkung Merkurs zurückzurückzuführen, sondern auch von den Unregelmäßigkeiten, die sich darin gezeigt haben, wenigstens im allgemeinen durch die störende Wirkung der übrigen Planeten, insbesondere Venus und Erde, Rechenschaft zu geben. Sellmeier hingegen hält die Mitwirkung Merkurs bei der Erzeugung der Sonnenfleckenperiode für ganz untergeordnet, und vindiziert den Hauptanteil an dem Zustandekommen derselben dem Zusammenwirken von Venus und Jupiter mit der Erde, welche drei Planeten im Durchschnitte alle 11·07 Jahre vom Centrum der Sonne gesehen nahe in einer geraden Linie stehen. Dabei wechseln während eines Cyklus von 77·54 Jahren in einem ziemlich regelmäßigen Turnus kurze Perioden von 10·38 mit langen von 12·00 Jahren ab. Da indes alle diese Untersuchungen noch keine entscheidenden Resultate geliefert, wollen wir uns mit den hier gegebenen Andeutungen begnügen, und nicht näher auf dieselben eingehen: sie führen uns aber von selbst auf die Besprechung der verschiedenen indirekten Wege, welche zur Ermittelung der Rotationsdauer der Sonne versucht worden sind.

§ 22. (Indirekte Bestimmung der Rotationsdauer der Sonne.) Vor einer Reihe von Jahren (1845) glaubte zuerst Nervander in den Temperaturen von Innsbruck und Paris eine Periode von $27^1/_4$ Tagen zu erkennen und sprach die Vermutung aus, daß dieselbe mit der Sonnenrotation zusammenhänge. Ähnliche Resultate erhielt Carlini aus der Berechnung vieljähriger meteorologischer Beobachtungen zu Mailand, und Buys-Ballot bei einer umfassenderen Untersuchung der Temperaturbeobachtungen in Haarlem, Zwanenburg und Danzig, welche seiner

Meinung nach eine Periodicität von 27·682 Tagen verraten. Zur Erklärung dieser Erscheinung nahm er an, daß die Sonne nicht in allen Meridianen eine gleich große wärmende Kraft besitze, und daß, vorausgesetzt, der wärmste Punkt der Sonne bewege sich nicht auf ihrer Oberfläche, seine synodische Umlaufszeit 27·682 Tage betrage. Seither wurden diese Untersuchungen von mehreren Seiten auf die Temperaturbeobachtungen einer größeren Zahl von Orten ausgedehnt, so unter Anderem von H. Fritz, der auch Beobachtungen aus dem hohen Norden während verschiedener Überwinterungen daselbst, und aus den Tropengegenden dazu heranzog; und alle diese bestätigen das Resultat von Buys-Ballot. Außerdem hat aber Fritz eine Periode von fast genau derselben Länge, nämlich 27·697 Tagen im Jahre 1870 auch in der Kurve der Sonnenflecken nachgewiesen, die mit jener in den Temperaturen insofern parallel läuft, als die höheren Temperaturen mit den Fleckenmaximis zusammentreffen. Dies wäre unter der Annahme, daß der wärmste Meridian der Sonne auch besonders zur Fleckenbildung geneigt sei, eine zweite Bestimmung der synodischen Umlaufszeit der Sonne. Sie beliefe sich darnach im Mittel auf 27·689 Tage, woraus für die wahre Rotationszeit der Sonne 25·74 Tage resultieren würde.

Das Auffinden einer Periodicität im Gange der Temperatur veranlaßte 1871 Hornstein zu untersuchen, ob nicht auch eine ähnliche Periode in den Barometerschwankungen sich kundgebe, und er war auch in der That so glücklich, bei den Barometerbeobachtungen des Jahres 1870 zu Prag im sogenannten Ebbe- und Flutgliede der täglichen Barometer-Oscillationen deutliche Spuren einer Periodicität von 25·82 Tagen zu erkennen, die wohl nur durch eine variable Einwirkung verschiedener Meridiane der Sonne erklärt werden kann und daher wieder eine Bestimmung der Rotationsdauer der Sonne ergiebt. Ein ganz gleiches Resultat, nämlich eine Periode von 25·83 Tagen, fand Broun in den zu Singapore 1841—1845 angestellten Barometerbeobachtungen. Die Barometerbeobachtungen führen so auf eine wahre Rotationszeit der Sonne von 24·12 Tagen, natürlich immer vorausgesetzt, daß der wirksamste Meridian seine Lage auf der Sonnenoberfläche nicht ändert.

Der Umstand, daß die Sonnenfleckenperiode so innig mit den täglichen Variationen der Magnetnadel zusammenhängt, hatte bereits 1855 Langberg veranlaßt, zur Erklärung des jährlichen Ganges in den täglichen Variationen der magnetischen Deklination die Hypothese aufzustellen, daß Sonne und Erde in ihrer Wechselwirkung auf einander als zwei große Magnete aufzufassen seien, und dabei die Vermutung auszusprechen, daß in den magnetischen Variationen sich eine der synodischen Umlaufszeit der Sonne gleiche Periode finden werde, falls die magnetische Achse der Sonne wie bei der Erde nicht mit ihrer Rotationsachse zusammenfällt. Diese Vermutung erhob Hornstein 1871 durch eine eingehende Untersuchung der magnetischen Beobachtungen in Prag, Wien und Petersburg vom Jahre 1870 zur Gewißheit, indem er im Gange sämtlicher

magnetischen Elemente eine Periode von 26·34 Tagen nachwies. Eine ähnliche von 25·88 Tagen hatte kurz vorher auch Broun in den magnetischen Variationsbeobachtungen zu Markerstown und Greenwich aufgefunden. Die genauere Feststellung dieser Periode wurde in den letzten zwei Decennien vielfach angestrebt, so von P. A. Müller, der aus Beobachtungen in Pawlowsk im Mittel 25·77 Tage für dieselbe erhielt, und von Liznar, der aus Beobachtungen in Wien und mehreren anderen hochnordischen Stationen, wo die Variation der magnetischen Elemente weit größer ist als in mittleren Breiten, sie auf rund 26 Tage schätzt. Eine noch umfassendere Untersuchung, deren Detail übrigens noch nicht vorliegt, hat aber 1893 Bigelow angestellt. Aus der Diskussion der Beobachtungen einer großen Anzahl magnetischer Observatorien von Europa und Amerika erhöht er die Dauer der Kurve der magnetischen Variationen auf 26·68 Tage und hält diese Zahl für die wahre synodische Rotationsdauer der Sonne, woraus als eigentliche Rotationsdauer derselben 24·86 Tage sich ergeben würden. Er stützt seine Ansicht darauf, daß die Äquatorialflecken eine nahe gleiche Rotationsdauer der Sonne liefern (§ 18) und nach Ferrel, Helmholz, Oberbeck, Shukowski u. a. aus theoretischen Gründen durch die Rotation eines von einer beweglichen Hülle umgebenen Weltkörpers Strömungen in dieser Hülle hervorgebracht werden, die beiderseits vom Äquator der Rotationsrichtung entgegenlaufen, während die Hülle am Äquator selbst die Winkelgeschwindigkeit des Kernes annimmt. Versuche von Belopolsky haben auch diese theoretischen Anschauungen im Ganzen und Großen bestätigt.

Fig. 48.

§ 23. (Struktur u. s. w. der Fackeln.) Wenn man die Sonne durch ein kräftiges Fernrohr betrachtet, ist, wie bereits eingangs erwähnt wurde, auch jener Teil ihrer Oberfläche, der keine Flecken enthält, weit entfernt, überall gleichmäßig hell zu sein. Derselbe hat vielmehr ein marmoriertes Aussehen, indem hellere und mattere schuppenartige Partien mit einander abwechseln. Insbesondere sind aber die größeren Flecken oder Fleckengruppen fast stets von einem netzartig verschlungenen Gewebe aderartiger Gebilde umgeben, die durch ihr helleres Licht scharf hervortreten und Sonnenfackeln oder, nach Schwabe, Lichtgewölk genannt werden. Die Fackeln sind am besten in der Nähe des Sonnenrandes in der Form wellenartig gebogener oder sich verzweigender Lichtstreifen sichtbar, wie dies sehr klar der obenstehende Holzschnitt (Fig. 48) zeigt, welcher einen von Tacchini am 19. Mai 1866 gezeichneten Sonnenflecken mit dem ihn umgebenden Fackelgebiete darstellt. Aus der Mitte der Fackeln brechen oft sehr dunkle Flecken hervor, sowie überhaupt Fackeln häufig Vorläufer von Flecken zu sein pflegen.

In den Fackeln und der Lichthülle der Sonne gehen nicht minder heftige Revolutionen vor wie in den Flecken, nur sind sie bisher als die viel weniger

auffälligen auch weniger beachtet und studiert worden. Ein besonders auffälliges Beispiel vom plötzlichen Hervorbrechen heller Fackeln sah Carrington am 1. September 1859, wo um $11^h\ 18^m$ Greenwicher Zeit in einer ausgedehnten Fleckengruppe plötzlich zwei leuchtende Punkte in einem weit stärkeren Lichte als die übrige Sonnenscheibe aufflammten und an Intensität noch eine kurze Zeit zunahmen. In den folgenden Minuten nahm die Helligkeit wieder rasch ab, so daß um etwa $11^h\ 23^m$, also nur 5^m später, die ganze Erscheinung bereits verschwunden war. Die leuchtenden Punkte wanderten übrigens während dieser Zeit über eine Strecke von etwa 56 000 km. Trotzdem trat in der Fleckengruppe selbst keine bemerkbare Änderung hervor, so daß das Phänomen in bedeutender Höhe über der Fläche der Flecken sich entwickelt zu haben scheint. Interessant ist es, daß dieser merkwürdige Vorgang auf der Sonnenscheibe trotz seiner kurzen Dauer doch noch von einem zweiten Astronomen, Hodgson in Kew, beobachtet und in sehr ähnlicher Weise beschrieben wurde, und daß während dieser Lichtentwickelung, wie bereits oben (§ 21) bemerkt wurde, heftige magnetische Störungen eintraten.

Aus einer sehr großen Zahl von photographischen Aufnahmen dieser Gebilde im Jahre 1884 am astrophysikalischen Observatorium zu Potsdam hat Wilsing für die Rotationszeit der Sonne 25·23 Tage erhalten, also eine Rotationszeit, welche der von Äquatorealflecken sehr nahe kommt, aber die Eigentümlichkeit besitzt, daß sie nicht wie diese mit der heliographischen Breite sich ändert, sondern konstant ist.

§ 24. (Atmosphäre der Sonne.) Bereits kurze Zeit nach der Entdeckung der Sonnenflecken bemerkte Lucca Valerio, daß die Randpartien der Sonne schwächer leuchten als das Centrum, was von Galilei bestritten, von Scheiner hingegen bekräftigt wurde. Diese Thatsache tritt übrigens sehr auffällig durch Projektion des Sonnenbildes auf einen weißen Schirm hervor, wobei man auch sogleich gewahr wird, daß die Farbe des Randes rötlich ist. Über das Verhältnis der Lichtabnahme hat aber, wie es scheint, erst Bouguer eigentliche Messungen, allerdings mit sehr unvollkommenen Apparaten, ausgeführt, und dann ruhten diese Untersuchungen abermals lange Zeit, bis sie Chacornac wieder aufnahm. Dieser fand in Übereinstimmung mit Bouguer, daß der um das Centrum herumliegende Teil der Sonnenscheibe bis zu einer etwa 0·3 des scheinbaren Sonnenradius betragenden Entfernung eine nahezu gleichförmige Helligkeit besitzt; von da an nimmt die Helligkeit anfangs langsam, dann rascher ab, bis sie an den Rändern kaum mehr als die Hälfte jener am Mittelpunkte ausmacht. Chacornac bemerkt hierzu, daß die Lichtintensität des Randes wegen der Fackeln sehr ungleichförmig sei, und daß die Penumbra der Flecken, wenn diese auf der Mitte der Sonnenscheibe sich befinden, noch etwas mehr Licht ausstrahlt als die Ränder der Sonne. Ganz ähnliche Resultate fanden auch alle späteren Forscher, die sich mit diesen Untersuchungen beschäftigten, wie Secchi, Liais, Pickering,

Vogel u. s. w., taxierten aber die Helligkeit des Sonnenrandes sehr verschieden. So giebt Liais wie Chacornac diesem eine allgemeine Lichtintensität von etwas mehr als $^1/_2$, Pickering etwa $^1/_3$, Secchi $^1/_3$ bis $^1/_4$, Vogel sogar bloß $^1/_5$ der Intensität des Centrums.

Vogel und nach ihm Gouy und Thollon beschränkten sich aber nicht darauf, die Lichtschwächung gegen die Ränder zu im allgemeinen zu bestimmen, sondern ermittelten dieselbe auch für jede Farbe besonders. Die ausführlichsten Untersuchungen sind die von Vogel; einen Überblick über das Resultat derselben giebt das folgende Täfelchen, in welchem die Zahlen, die unter den Farben stehen, die Sorte des untersuchten Lichtes genauer durch seine Wellenlänge in Millionteln eines Millimeters ausgedrückt (vergl. § 5) angeben, und die Entfernung der untersuchten Partie der Sonnenscheibe vom Centrum in Zehnteilen des Radius gegeben ist, so daß also die letzte Zahl 1·0 den Rand selbst bedeutet.

Entfernung vom Centrum	Rot 662	Gelb 589	Grün 512	Blau 470	Violett 408
0·0	100	100	100	100	100
0·3	99	98	97	97	96
0·6	95	91	86	87	82
0·7	91	85	80	81	74
0·8	84	75	71	72	64
0·9	71	59	57	58	48
1·0	30	25	18	16	13

Daraus ersieht man sofort, daß das violette Ende des Spektrums weit mehr geschwächt wird als das rote, was sehr gut mit der rötlichen Färbung der Ränder und der Annahme von Langley stimmt, daß die Sonne selbst eigentlich ein bläulicher Himmelskörper sei (I., § 111).

Liais untersuchte auch die Helligkeit der Flecken und Fackeln und fand die der Kerne der Flecken kleiner als 0·01 der Helligkeit der Photosphäre, in Übereinstimmung mit W. Herschel, der sie auf 0·007 derselben geschätzt hat. Die Helligkeit der Penumbra giebt Liais wie Chacornac etwa zur Hälfte der Helligkeit der Photosphäre an, und was die Fackeln betrifft, gleicht ihre Intensität in einer Entfernung von 1′ vom Rande der des Centrums der Sonnenscheibe.

Der Gang der Zahlen der obigen Tabelle läßt unter anderem auch erkennen, daß die Intensität der chemischen und der Wärmestrahlen im Centrum der Sonnenscheibe ebenfalls größer sein werde als an den Rändern. Dies ist für die Wärmestrahlen auch durch direkte Untersuchungen von Henry Ericson und Langley nachgewiesen worden. Ericson findet die Wärmestrahlung an den Rändern $^7/_{11}$ derjenigen einer gleich großen Fläche des Centralgebietes, Langley aber kaum halb so groß.

Diese Thatsachen lassen sich nur durch eine die Sonne umgebende Atmosphäre erklären, welche Licht und Wärme absorbiert, ersteres aber in bedeutend

höherem Maße, wie aus einer Vergleichung der oben für die Licht- und Wärmeabsorption gegebenen Zahlen unmittelbar folgt.

Die Wärmeabsorption verlegt Langley hauptsächlich in die später zu erwähnende dünne rote Umhüllung des Sonnenkörpers, die sogenannte Chromosphäre, was Liais auch für die Lichtabsorption annimmt, indem er der lichtabsorbierenden Schicht bloß eine Dicke von 4″ bis 8″ zuschreibt. Langley vindiziert außerdem geringen Änderungen in der Absorptionsfähigkeit dieser Schicht — solche als möglich vorausgesetzt — einen sehr großen Einfluß auf die Klimatologie unserer Erde; doch wollen wir ihm auf dieses Gebiet nicht weiter folgen, sondern nur noch erwähnen, daß Ericson aus seiner oben angeführten Zahl den Schluß zieht, daß die Sonnenatmosphäre höchstens $^1/_7$ der vom Sonnenkörper ausgestrahlten Wärme absorbiert.

Die Versuche, die Secchi im März und September 1852 über die Wärmeabsorption der Sonnenatmosphäre ausführte, wiesen darauf hin, daß die Äquatorialgegenden der Sonne wärmer seien als die Polargegenden. Im Jahre 1874 wiederholte Langley diese Versuche, zum Teil mit wesentlich verbesserten Hilfsmitteln, konnte jedoch keinen ähnlichen Unterschied in den Temperaturen auf der Sonne bemerken. Hingegen fanden Cruls und Lacaille im Jahre 1878 den äquatorealen Durchmesser wieder wärmer als den polaren und den Maximalunterschied in einer Entfernung von $^2/_3$ vom Centrum aus zu $^1/_5$ des Gesamtbetrages. Es scheinen daher, wie schon Secchi vermutet, Veränderungen auf der Sonne selbst vorzukommen; es wäre deshalb sehr wünschenswert, daß diese Beobachtungen längere Zeit hindurch systematisch fortgesetzt würden.

Cruls und Lacaille haben ferner auch die nördliche und südliche Halbkugel der Sonne in Bezug auf ihre Wärmestrahlung zwischen dem 9. und 24. Januar 1878 in Rio Janeiro untersucht. Zu diesem Zwecke wurde das auf einen Schirm projizierte Sonnenbild in konzentrische Zonen von je 0·1 Radius-Breite geteilt und jede solche Zone mittels einer Thermosäule auf ihre Wärmeausstrahlung geprüft. Bezeichnet man nun die Strahlung im Centrum mit 100, so ergab sich im Mittel:

Radius der Zone.	Strahlung. Südl. Halbk.	Nördl. Halbk.
0·2	80·0	97·5
0·3	63·9	91·7
0·4	60·7	88·8
0·5	57·6	82·3
0·6	55·1	77·4
0·7	52·1	67·4
0·8	47·6	64·2
0·9	39·9	50·5

Man ersieht daraus, daß die nördliche Halbkugel um jene Zeit viel mehr Wärme als die südliche ausstrahlte.

Die Gesamtstrahlung der Sonne hat Savélief mit einem Crova'schen Aktinometer seit Mitte 1890 zu Kiew sehr eingehend studiert und dabei das

unerwartete Resultat erhalten, daß dieselbe an fleckenreichen Tagen einen höheren Wert besitzt, als an fleckenarmen. Darnach scheint es, daß, wie schon W. Herschel annahm (§ 21), eine erhöhte Fleckenzahl nur ein Sympton einer gesteigerten Thätigkeit der Sonne ist. Denn wie schon 1845 Henry nachgewiesen und 30 Jahre später Langley bestätigt hat, senden die Sonnenflecken selbst weniger Wärme als die umgebende Photosphäre aus. Die diesbezüglichen Untersuchungen hat 1893 Wilson mittelst des Radiomikrometers von Boys wieder aufgenommen und vervollständigt. Er fand, daß ein Sonnenflecken im Mittel nur 35·6 % der photosphärischen Wärme entsendet, daß aber die Wärmeausstrahlung der Flecken mit der Annäherung an den Rand viel langsamer abnimmt, als die Wärmeausstrahlung der Photosphäre, welche letztere an den Rändern selbst nur $^3/_7$ jener der centralen Partien beträgt. Vergleicht man diese Zahlen mit den oben für die Helligkeit der Flecken gegenüber der Photosphäre gegebenen, so erkennt man unschwer, daß die Flecken relativ viel reicher an Wärme- als Lichtstrahlen sind.

§ 25. (Erscheinungen bei totalen Sonnenfinsternissen.) Da der Mond, wie wir bald sehen werden, gar keine Atmosphäre besitzt, oder wenigstens eine so dünne, daß sie am Mondrande vorbeigehende Lichtstrahlen von ihrer Richtung nicht abzulenken vermag, sollte man glauben, daß bei Sonnenfinsternissen in dem Momente des Anfanges der totalen Verfinsterung völlige Dunkelheit herrschen und insbesondere die Stelle des Himmels, welche das Doppelgestirn einnimmt, lichtlos oder höchstens durch ihre völlige Dunkelheit von dem übrigen Firmamente zu unterscheiden sein werde. Allein dem ist nicht so. Den großartigen Eindruck, welchen ein solches Ereignis auf die uns umgebende Natur hervorbringt, haben wir schon früher (I., § 103) zu schildern versucht; wir wenden uns daher hier gleich den Erscheinungen zu, welche sich an der verfinsterten Sonne zeigen.

Bereits eine lange Zeit vor dem Eintritte der Totalität, während also noch immer eine Sonnensichel vom Monde unbedeckt ist, weist die eigentümliche Erscheinung, daß man (im Fernrohre) den Mondrand noch eine weite Strecke über die Sonnenscheibe hinaus verfolgen kann, darauf hin, daß der Hintergrund in der Nähe der Sonne nicht ganz dunkel, sondern merklich heller als der schwarze Mond sei. Noch klarer tritt dies während der totalen Verfinsterung hervor: durch die ganze Dauer derselben zeigt sich um den Mond ringsherum ein hellstrahlender Lichtschimmer, die Corona, welche unmittelbar am Mondrande am hellsten ist und von da allmählich durch alle Zwischenstufen in den dunklen Hintergrund übergeht. Ihre Farbe wird meist als weißlich, manchmal aber auch als gelblich geschildert. Ihre Ausdehnung und Struktur wechseln von einer Finsternis zur andern, und es scheinen sowohl die eine wie die andere in einem gewissen Zusammenhange mit der Phase, in welcher sich eben die Sonnenfleckenkurve befindet, zu stehen. Die Corona ist am besten mit einem lichtstarken Fernrohre von schwacher Vergrößerung und großem Gesichtsfelde (z. B. mit einem

sogenannten Kometensucher) zu beobachten, und dann zeigt sie nicht an allen Stellen des Mondrandes gleichförmige Helligkeit, sondern strahlenartig angeordnete hellere Partien, welche weit über die benachbarten Umrisse der Corona hinausragen und auffallenderweise oft keineswegs geradlinig fortlaufen, sondern gegen das Ende zu sich hakenartig krümmen.

Die Nachrichten über das Auftreten der Corona während einer totalen Sonnenfinsternis reichen, abgesehen von einer diesbezüglichen Nachricht bei Plutarch, bis zum Anfange des vorigen Jahrhunderts zurück, wo Plantade, Halley, Maraldi u. a. ihrer Erwähnung thun. Dies darf uns nicht überraschen, da sie schon mit freiem Auge sichtbar ist und sich namentlich so bis zu einer bedeutenden Entfernung vom Monde verfolgen läßt; ja, es werden Finsternisse mit kurzer Totalitätsdauer erwähnt, bei denen eine Glorie von solcher Helligkeit erschien, daß man sogar den Eintritt einer wirklichen totalen Bedeckung bezweifeln zu müssen glaubte. Da aber die Beobachtungen der Corona sehr zerstreut waren, gerieten sie von einer Finsternis zur andern um so leichter wieder in Vergessenheit, als die in einer und derselben Gegend sichtbaren totalen Verfinsterungen der Sonne im allgemeinen durch Jahrhunderte lange Zwischenzeiten von einander getrennt sind und man die Finsternisse überhaupt in früheren Zeiten bloß als Mittel zur Bestimmung von Längendifferenzen betrachtete, daher auch nur in dieser Absicht beobachtete. Da trat die Sonnenfinsternis vom 8. Juli 1842 ein, bei der die Zone der totalen Verfinsterung für Europa sehr günstig lag, indem sie Spanien, das südliche Frankreich, Sardinien, Österreich-Ungarn und Südrußland durchschnitt. Mit ihr beginnt ein epochemachender Umschwung in Beziehung auf die Benützung der totalen Sonnenfinsternisse. Die Astronomen, welche sich zur Beobachtung derselben in die Zone der Totalität begeben hatten, wurden nämlich beim Beginne der totalen Verfinsterung nicht nur durch das Auftreten der Corona, sondern noch mehr durch das plötzliche Erscheinen roter Hervorragungen — Protuberanzen genannt — am Mondrande überrascht. Später fand man, daß auch diese Protuberanzen bereits seit Anfang des vorigen Jahrhunderts mehrmals erwähnt wurden; allein diese Nachrichten waren ebenfalls ganz verschollen, so daß erst von jenem Momente an bei allen folgenden großen Finsternissen bedeutende Anstrengungen zur Erforschung dieser seltsamen Lichterscheinungen gemacht wurden.

Über das Aussehen und die Farbe der Protuberanzen lauten nicht nur die Berichte bei verschiedenen, sondern auch die der einzelnen Beobachter bei einer und derselben Finsternis sehr verschieden. Die meisten Protuberanzen erscheinen rosenrot bis ins Dunkelrote spielend, aber auch violette, gelbliche, weiße, ja sogar mit schwarzen Rändern eingefaßte will man schon gesehen haben. Merkwürdig dabei ist noch, daß sie sehr selten eine homogene Färbung zeigen, sondern meist eine faserige Struktur besitzen, wobei die Farbe der Fasern von jener des Grundes verschieden ist; daß sie öfter zu einzelnen Gruppen vereint vorkommen

und man dann deutlich bemerkt, wie einige sich auf die anderen projizieren. Ferner sind von mehreren Beobachtern im Verlaufe der Finsternis Änderungen des Farbentones in diesen Gebilden wahrgenommen und außer den scheinbar auf dem Mondrande wurzelnden Protuberanzen noch frei schwebende Wolken von derselben Farbe und Struktur bemerkt worden. Die Erhebung der Protuberanzen über den Mondrand beträgt selten mehr als 2′ bis $2\frac{1}{2}$′, kann jedoch selbst auf 4′ und auch darüber steigen, so daß ihre wahre Elevation über die Sonnenphotosphäre häufig die sehr bedeutende Größe von 87 000 bis 108 000 km. erreicht, in einzelnen Fällen aber auch zu der enormen Dimension von mehr als 173 000 km anwachsen kann. Ihre Zahl ist bei den verschiedenen Finsternissen sehr ungleich; eine besonders glänzende Erscheinung boten sie bei der am 18. Juli 1860 dar: während derselben schien nach dem Ausdrucke Secchi's der ganze Sonnenkörper in Flammen zu stehen, deren Spitzen ringsum hoch über den Mond emporschlugen.

Was die Erklärung der eben beschriebenen Lichtphänomene betrifft, bildeten sich gleich bei der Finsternis vom 8. Juli 1842 zwei Parteien: die eine, welche die Protuberanzen als Anhängsel des Sonnenkörpers und die Corona als dessen Atmosphäre ansah, die andere, welche diese Erscheinungen sämtlich für optisch erklärte, entstanden durch Refraktion, Beugung u. s. w. der am Mondrande, insbesondere an den Mondbergen vorbeistreifenden Lichtstrahlen. Allein keine der beiden Parteien konnte sich auf mehr als Wahrscheinlichkeitsgründe stützen; entscheidende Beweise für ihre Meinung konnte damals keine beibringen, da die Erscheinungen ganz unerwartet aufgetreten waren, und man infolgedessen zu deren genauerer Beobachtung gar keine Vorbereitungen hatte treffen können. Unter diesen Umständen erwartete man mit Ungeduld den 28. Juli 1851, an welchem Tage die nächste Sonnenfinsternis mit einer für Europa günstig liegenden Totalitätszone eintrat. Wohl zeigten sich bei dieser Finsternis auch die ersehnten Protuberanzen in genügender Zahl und die Corona in seltener Pracht; aber wenn sich auch durch die gemachten Wahrnehmungen mit großer Wahrscheinlichkeit auf die Zusammengehörigkeit der Protuberanzen und der Corona mit der Sonne schließen ließ, wurde dennoch keine definitive Entscheidung herbeigeführt. Der Grund liegt in der großen Schwierigkeit, welche die stets ungemein kurze Dauer der Totalität, die selten 3^m bis 4^m übersteigt, einer genauen Beobachtung dieser Erscheinungen entgegenstellt.

Erst bei der Finsternis am 18. Juli 1860 sollte der schon im Jahre 1842 mehrfach, unter andern auch von K. v. Littrow, im Jahre 1851 aber ziemlich allgemein bemerkte Umstand, daß die Protuberanzen, wenn auch ohne merkbare Färbung, selbst außerhalb der Totalität bis zu nicht ganz unbeträchtlichen Phasen sichtbar bleiben, die Frage über den Ursprung dieser Gebilde einer definitiven Lösung zuführen. Bei dieser Finsternis war nämlich Bruhns zu Tarazona in Spanien so glücklich, eine Protuberanz 2^m vor dem Eintritte der Totalität am

unteren Teile des Mondrandes auftauchen zu sehen, und imstande, dieselbe noch $6^1/_3{}^m$ nach dem Ende der Totalität zu verfolgen, da sie sich gerade in einer auf der Mondbewegung senkrechten Richtung befand und Tarazona der Nordgrenze der Totalitätszone näher lag als der Südgrenze, daher der nördliche Mondrand nicht weit über den Sonnenrand übergriff. Da nun in Tarazona die Sonne durch $3^1/_3{}^m$ total verfinstert blieb, sah Bruhns diese Protuberanz im ganzen nahe 12^m lang, also durch einen Zeitraum, den keine der anderen bisher angestellten Beobachtungen auch nur annähernd erreichte. Außer dem Vorteile der langen Sichtbarkeit hatte aber diese Protuberanz noch eine besondere Wichtigkeit für die Entscheidung der Frage über die Natur dieser Gebilde, da sie nahezu senkrecht auf der Richtung der scheinbaren Mondbewegung sich befand und deshalb an jener Stelle jeden Augenblick ein anderer Punkt des Mondrandes mit dem Sonnenrande in Berührung kam. Es ließ sich daher leicht entscheiden, ob die Protuberanz während der Zwischenzeit ihre Lage auf der Sonnen- oder auf der Mondoberfläche geändert habe. Das letztere war der Fall, zum sicheren Zeichen, daß sie der Sonne angehöre; denn stehen diese Gebilde mit der Sonne in irgend einer Verbindung, so kann ihre Lage gegen einen gewissen Punkt der Sonnenoberfläche innerhalb der kurzen Zeit ihrer Sichtbarkeit keine erhebliche Änderung erfahren. Wären aber diese Gebilde optischer Natur, d. h. entständen sie durch Beugung des Lichtes an Mondbergen, so müßten sie beim Fortrücken des Mondes über jenen Bergen, denen sie ihre Entstehung verdanken, bleiben, also ihre Lage auf der Mondoberfläche unverändert beibehalten.

Die nächsten Sonnenfinsternisse, insbesondere die ringförmige Finsternis vom 6. März 1867, lieferten neue Belege für die solare Natur der Protuberanzen. Als daher die Finsternis vom 18. August 1868 heranrückte, zu deren Beobachtung wegen der außergewöhnlich langen Dauer der Totalität zahlreiche Expeditionen in ferne Länder abgingen, kam es nicht mehr so sehr darauf an, neue Beweise für die Zusammengehörigkeit der Protuberanzen mit der Sonne beizubringen, als vielmehr darauf, durch Spektral-Beobachtungen, die bei dieser Finsternis das erste Mal in ausgedehnterem Maße in Anwendung kamen, die molekulare Beschaffenheit dieser Gebilde festzustellen. Es gelang dies auch, indem an verschiedenen Orten längs des Laufes der Totalitätszone das Spektrum der Protuberanzen als ein diskontinuierliches, aus einzelnen hellen Linien bestehendes, d. h. als ein Spektrum glühender Gase erkannt wurde. Die Helligkeit einzelner dieser Linien brachte überdies Janssen, der in Guntoor beobachtete, auf den Gedanken, daß dieselben auch außerhalb totaler Finsternisse im Spektroskope sichtbar sein müßten, und es gelang ihm wirklich, sie gleich am folgenden Tage wieder zu sehen.

Mit dieser schönen Entdeckung hat die Beobachtung totaler Sonnenfinsternisse einen großen Teil ihrer Wichtigkeit verloren, indem die Sichtbarkeit der Protuberanzen jetzt nicht mehr auf das seltene Eintreffen und die kurze Dauer derselben beschränkt ist; die Erforschung der Natur der Protuberanzen ist dadurch

wesentlich gefördert worden, da es erst von nun an möglich wurde, dieselben eingehender zu studieren. Doch wollen wir die in dieser Richtung bisher erlangten Resultate erst im folgenden Paragraphen kurz zusammenstellen und uns inzwischen nochmals der Corona zuwenden.

Demjenigen, was oben über die Erscheinung der Corona im Allgemeinen gesagt wurde, haben wir zunächst noch ergänzend hinzuzufügen, daß bereits 1851 Edlund und 1860 Prazmowsky nachgewiesen haben, das Licht derselben sei in der Richtung des betreffenden Sonnen- oder (was hier auf dasselbe hinauskommt) Mondhalbmessers polarisiert. Deutet schon dies auf einen innigen Zusammenhang der Corona mit der Sonne, so wurde die solare Natur derselben, ebenfalls bei der denkwürdigen Sonnenfinsternis vom Jahre 1868, durch Spektralbeobachtungen vollständig außer Zweifel gestellt, indem das Spektrum derselben als ein kontinuierliches sich herausstellte. Die Untersuchung der Corona bei den folgenden totalen Finsternissen mit kräftigeren Apparaten hat in ihrem Spektrum zahlreiche helle Linien erkennen lassen, namentlich eine im Grün, die mit der hellsten Linie im Spektrum des Zodiakallichtes koinzidieren soll und anfänglich für eine Eisenlinie gehalten wurde. Durch Anwendung eines sehr stark zerstreuenden Spektralapparates hat jedoch Young nachgewiesen, daß die an der betreffenden Stelle des Sonnenspektrums befindliche Linie keine einfache, sondern eine sehr enge Doppellinie ist, von welcher nur die brechbarere Komponente dem Eisen angehört, während die weniger brechbare, die er mit der Coronalinie identifiziert, im Spektrum irdischer Stoffe noch nicht nachgewiesen wurde. Bei den totalen Sonnenfinsternissen vom Jahre 1871 und 1874 wollen einige Beobachter im Coronaspektrum auch einzelne dunkele Linien bemerkt haben: doch können diese letzteren Beobachtungen, wenn sie auch schwer zu deuten sind, an dem Resultat nichts ändern, daß die Corona, wenigstens der Hauptsache nach, eine Sonnenatmosphäre ist, die wegen ihrer geringen Leuchtkraft erst sichtbar wird, sobald der Mond die helle Sonnenscheibe verdeckt. Sie beweisen nur, daß die Corona in ihrer Gesamtheit ein sehr kompliziertes Phänomen ist, und daß zum Hervorbringen einiger Erscheinungen, die man an ihr bemerkt hat, auch andere Ursachen mitwirken, wie denn z. B. unter Anderem gleich das oft erwähnte Scintillieren derselben jedenfalls auf Rechnung unserer Atmosphäre zu setzen und nicht als eine Eigentümlichkeit derselben zu betrachten ist.

Die während der Sonnenfinsternis am 17. Mai 1882 von Schuster genommenen Spektro-Photogramme der Corona zeigten, daß die größte Intensität ihres Lichtes zwischen den Spektrallinien C und H gelegen sei. Dies brachte Huggins auf die Idee, durch Anwendung von absorbierenden Mitteln, welche bloß jene Lichtpartieen durchlassen, auch außerhalb totaler Finsternisse die Corona zu photographieren. Es gelang ihm auch in der That, durch Anwendung einer frisch bereiteten Lösung von übermangansaurem Kali als Absorptionsmittel, ein in seinen Umrissen und Charakteren eigentümlich coronaartiges Bild zu erhalten.

Ebenso hatte Lohse in Potsdam bereits im Jahre 1878 dasselbe Ziel durch Herstellung von sensitiven Platten zu erreichen versucht, die nur für die obengenannten Partieen des Spektrums empfindlich waren. Doch haben weder diese noch neuere, nach verschiedenen Methoden von Abney, Deslandres, Hale u. a. ausgeführten Versuche bisher zu einem konkludenten Resultate geführt.

Bei der totalen Sonnenfinsternis vom 16. April 1893 ist es Deslandres gelungen, das Spektrum der Corona bis zur Grenze des ultravioletten Spektrums des gewöhnlichen Sonnenlichtes zu photographieren und durch Juxtaposition von Photographieen des östlichen und westlichen Sonnenrandes eine Verschiebung der Spektrallinien (§ 19) nachzuweisen, die darauf hindeutet, daß die Corona beiläufig in derselben Zeit rotiert, wie der Sonnenkörper.

Nicht ohne Interesse ist auch der Umstand, daß beim nachträglichen Durchmessen der photographischen Aufnahmen der Corona während totaler Sonnenfinsternisse bereits zweimal innerhalb deren Strahlen ein Komet aufgefunden wurde, und zwar bei der Finsternis vom 17. Mai 1882 und bei der vom 16. April 1893. Ein Seitenstück hierzu bietet die Nachricht alter Chroniken, daß während der totalen Verfinsterung der Sonne am 19. Juli 418 ein Komet sichtbar wurde.

Schließlich sei in historischer Beziehung noch nachgetragen, daß bereits 1851 der Versuch gemacht wurde, die Erscheinungen totaler Finsternisse zu fixieren, und Berkowsky am Heliometer der Königsberger Sternwarte ein Daguerrotypbild erhielt, dessen Schönheit sehr gerühmt wird. Hierauf gelangen aber bereits photographische Aufnahmen im Jahre 1860 in Spanien zu Rivabellosa (De la Rue) und Desierto de las Palmas (Secchi) und 1868 in Arabien (Deutsche Expedition) und Indien (Tennant). Seither wurden bei jeder größeren Finsternis zahlreiche Photogramme gewonnen.

§ 26. (Spektralbeobachtungen von Protuberanzen und Sonnenflecken.) Es wurde früher gesagt, daß Janssen, gestützt auf seine Beobachtungen während der totalen Finsternis vom 18. August 1868, so glücklich war, gleich am folgenden Tage die hellen Protuberanzlinien am Sonnenrande wiederzufinden. Bereits im Jahre 1866 hatte Lockyer die Idee angedeutet, es müsse möglich sein, das Spektrum der Protuberanzen mit kräftigen Spektralapparaten jederzeit am Sonnenrande aufzufinden. Diese in die Form einer Frage eingekleidete Idee fand indes damals keine Beachtung, und Lockyer selbst war nicht imstande, sie zu verifizieren; erst Mitte Oktober 1868 konnte er sich ein hinreichend kräftiges Spektroskop verschaffen, und mit diesem fand er sofort am 20. Oktober die drei hellsten Protuberanzlinien grade zu der Zeit, als die ersten Nachrichten über Janssen's Spektralbeobachtungen während der Sonnenfinsternis vom 18. August in Europa bekannt wurden.

Es gelang übrigens sehr bald und fast gleichzeitig Zöllner, Lockyer und Huggins, die ursprüngliche Beobachtungsmethode einfach durch eine Verbreite-

rung des Spaltes so weit zu vervollkommnen, daß nicht nur die hellen Protuberanzlinien, sondern die Protuberanzen selbst auch der Form nach in monochromatischem Lichte, und zwar am bequemsten im Lichte der C-Linie beobachtet werden können. Seither werden diese Gebilde vielfach spektroskopisch beobachtet, und man hat dadurch zunächst die Thatsache erhärtet, welche übrigens bereits festgestellt war, daß die Protuberanzen lokale Auftreibungen einer schmalen, etwa 10″ bis 15″ breiten Hülle des Sonnenkörpers sind. Diese Hülle wird jetzt gewöhnlich als Chromosphäre bezeichnet, während der darunter befindliche hell leuchtende Sonnenkern seinen alten Namen Photosphäre beibehalten hat.

Die Formen, in denen die Protuberanzen erscheinen, sind äußerst mannigfach, wie dies aus Tafel IV unmittelbar ersichtlich, auf der eine kompliziertere, auf der Sternwarte des Harvard College zu Cambridge U. S. gezeichnete Protuberanzgruppe dargestellt ist. Doch kehren in den einfacheren Gebilden dieser Art mehrere typische Formen häufig wieder, welche nach Secchi in folgende vier Klassen eingeteilt werden können.

1. Haufenprotuberanzen. Damit bezeichnet Secchi eigentlich nur die größeren Anschwellungen der Chromosphäre, die nach außen zu nirgends geradlinig, sondern durchaus zackig begrenzt ist. Die Haufenprotuberanzen übersteigen selten eine Höhe von 40″ bis 50″ und sind am zahlreichsten und intensivsten in der Region der Flecken.

2. Nebelartige Protuberanzen. Sie sind unter allen Formen die zahlreichsten und gleichen in der Regel unseren feineren Cirrocumulus-Wolken, indem sie aus einzelnen zarten, halb flottierenden, zum Teil auch ganz losgelösten Massen zusammengesetzt sind, die sich nicht selten allmählich in den Hintergrund verlieren. Manchmal scheinen aber auch aus der Chromosphäre mehrere ziemlich dichte Feuersäulen aufzusteigen, die erst in größeren Höhen sich in wolken- oder baumartige Massen zerteilen und dabei zuweilen sehr barocke Formen annehmen. Die Spitzen der einzelnen Protuberanzen sind gewöhnlich nach einer und derselben Richtung abgebogen, so daß man unwillkürlich den Eindruck empfängt, die Protuberanzenmasse werde durch Strömungen in der Sonnenatmosphäre fortgetragen.

Die Höhe dieser Protuberanzen ist sehr bedeutend und beträgt gar nicht selten 2′ bis 3′; doch nimmt ihr Glanz mit der Höhe rasch ab. Sie sind übrigens bisweilen auch bloß Überbleibsel der viel intensiveren

3. Strahlenprotuberanzen, welche Tafel IV versinnlicht. Diese sind meist von kurzer Dauer, schießen gewöhnlich sehr rasch in die Höhe und zeigen auch während der kurzen Zeit ihres Bestehens eine große Unbeständigkeit. Wenn, wie dies hin und wieder geschieht, die Spitzen dieser Gebilde sich zu Wolken ballen und nach unten abbiegen, so gewähren sie den interessanten Anblick eines zur Sonne niederfallenden Feuerregens.

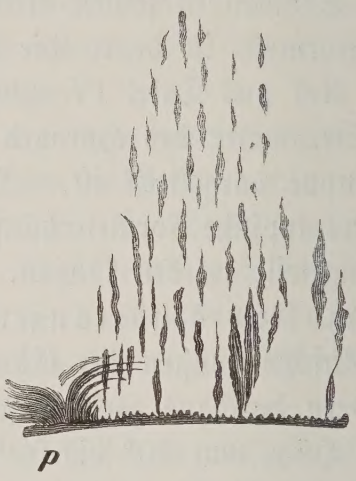
4. Büschelprotuberanzen. Diese sind den Strahlenprotuberanzen in

vielen Stücken ähnlich, unterscheiden sich aber von ihnen durch geringeren Glanz, größere Beständigkeit und dadurch, daß sie an den Spitzen sich meist verbreitern oder in Wölkchen auflösen.

Übrigens ist es oft schwer, zu entscheiden, in welche Klasse eine Protuberanz eigentlich einzureihen ist, da diese Gebilde überhaupt sehr veränderlich sind und oft binnen kurzem vollständig andere Gestalten annehmen. Eines der auffallendsten Beispiele dieser Art sah Young in Dartmouth am 7. September

Fig. 49a.

Fig. 49b.



1871, wo eine Protuberanzenkette in der Zeit von 25^{m} förmlich zerstäubte, wie dies aus Fig. 49a bis 49d ersichtlich ist, von denen die beiden ersten Figuren ihre Gestalt um 12^{h} 30^{m} und 12^{h} 55^{m} wiedergeben. Die Anfangshöhe des Gebildes betrug etwa 2′ (87 000 km); einzelne der herumfliegenden Trümmer hatten aber um 12^{h} 55^{m} bereits eine Höhe von 4′ (173 000 km) erreicht und

Fig. 49c.

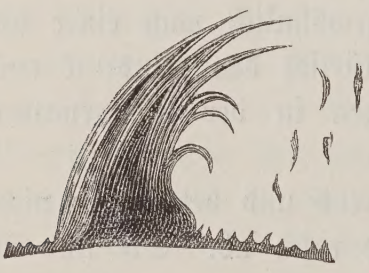
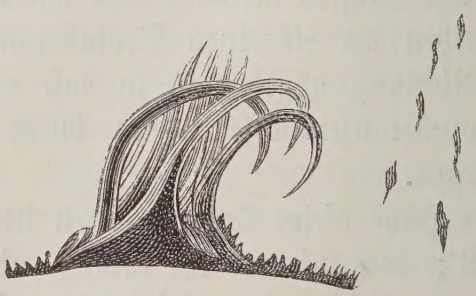


Fig. 49d.



stiegen in den folgenden 10^{m} (bis 1^{h} 5^{m}) sogar bis auf eine Höhe von 7′ 49″ (beiläufig 338 000 km) empor. Damit hatte jedoch die Eruption noch nicht ihr Ende erreicht. Denn nun bildete sich die in den beiden vorstehenden Figuren mit p bezeichnete kleine, intensiv helle Protuberanz, die mittlerweile in verhältnismäßiger Ruhe verharrte, zu einer wogenden, ihre Gestalt fortwährend ändernden Flamme aus, wie dies Fig. 49c und 49d zeigt, welche sie in ihrer vollen Entwickelung um 1^{h} 40^{m} und 1^{h} 55^{m} darstellt. Zur letztgenannten Zeit hatte diese

Protuberanz ebenfalls eine Höhe von 2′ erreicht; allein von nun an nahm ihre Intensität so rasch ab, daß auch sie bereits um $2^h\ 30^m$ vollständig verschwunden war.

So rasche Änderungen an Protuberanzen sind auch in den letzten Jahren vielfach beobachtet worden, namentlich an Strahlenprotuberanzen, wobei sie zuweilen eine ganz erstaunliche Größe erreichen. Dies war beispielsweise bei einer hellen, aber dünnen Strahlenprotuberanz der Fall, die nach Thollon am 30. August 1880 am Ostrande der Sonne gegen 11^h vormittags auftauchte, so rasch wuchs, daß sie um $12^h\ 45^m$ die enorme Höhe von 8·4′ (364 000 km) erreichte, dann aber ebenso rasch wieder erblaßte, so daß sie bereits um 1^h kaum mehr sichtbar war. Zu einer noch größeren Höhe erhob sich eine Protuberanz, die Young am 7. Oktober 1880 beobachtete. Um $10^h\ 30^m$ war sie noch ein hornartiges Gebilde von geringen Dimensionen (etwa $1^1/_2$′) und bot nichts auffälliges dar. Eine halbe Stunde später war sie sehr intensiv geworden und hatte ihre Höhe verdoppelt, und nun streckte sie sich in der nächsten Stunde immer weiter aufwärts, bis sie die bisher noch nie vorgekommene Höhe von 13′ (563 000 km) erreichte, welche dem ganzen Sonnenradius (16′) nicht mehr viel nachgiebt. Dann brach sie auseinander; die einzelnen Stücke verblaßten schnell, so daß bereits um $12^h\ 30^m$ keine Spur von der ganzen Erscheinung übrig geblieben war. Ähnliche Riesenprotuberanzen mit rascher Veränderlichkeit wurden auch zur Zeit des letzten Sonnenfleckenmaximus (1893) wieder mehrfach, namentlich von Fenyi in Kalocsa, beobachtet.

Sieht man derartige Änderungen als wirkliche Eruptiverscheinungen, d. h. Ausstoßungen von Gasmassen an, so wird man auf ganz unglaublich große Explosivkräfte und Anfangsgeschwindigkeiten geführt, die viele Hundert Kilometer in der Sekunde betragen. Es verdient daher die von Cornu ausgesprochene Idee alle Beachtung, daß man vielleicht in diesen Lichterscheinungen nicht so sehr Fortbewegung von Materie als vielmehr eine Art elektrischen Aufleuchtens wie bei den Nordlichtstrahlen vor sich habe.

Im Spektrum der Protuberanzen und der Cromosphäre sind fast stets vier helle Linien sichtbar, von denen drei — eine im Rot, eine im Grünblau und eine im Violett — die Umkehrungen der bekannten Fraunhofer'schen Linien C, F und H sind, die dem Wasserstoffe angehören. Der vierten hellen Linie im Gelb entspricht merkwürdigerweise keine dunkle Linie im Sonnenspektrum, und es ist bisher auch noch bei keinem irdischen Körper eine Linie in dieser Lage aufgefunden worden. Man hat sie deshalb mit dem Namen Helium-Linie belegt und bezeichnet sie als D_3, weil sie einen etwas größeren Brechungsexponenten als die brechbarere der beiden Natriumlinien besitzt. Neuere Untersuchungen von Spée und anderen deuten übrigens darauf hin, daß sie nur eine weitere Wasserstofflinie und das Fehlen derselben im irdischen Wasserstoffspektrum nur auf die geänderten Verhältnisse auf der Sonne zurückzuführen sei.

Außer den eben genannten ist jedoch an der Wurzel von größeren Protuberanzen, besonders von Strahlenprotuberanzen, namentlich zur Zeit ihrer Entwickelung (d. h. so lange sie emporsteigen) häufig noch eine Menge anderer heller Linien sichtbar. Die Zahl dieser Linien nimmt aber in den höheren Partieen der Protuberanzen bis auf die schon mehrfach erwähnten Linien C, D_3 und F sehr rasch ab.

Diese Beobachtungen deuten ebenso wie das ganze Aussehen der Protuberanzen darauf hin, daß jene Gebilde heftigen Gaseruptionen, welche unterhalb der Chromosphäre stattfinden, ihre Entstehung verdanken. Durch solche Eruptionen werden nämlich Partieen der Chromosphäre, die vermöge ihres oben beschriebenen Spektrums hauptsächlich aus glühendem Wasserstoffgase (Linien C, F und H) besteht, mit ungeheurer Gewalt in die eigentliche Sonnenatmosphäre emporgeschleudert und so die Protuberanzen gebildet. Bei heftigen Explosionen werden aber auch noch glühende Gasmassen aus dem Innern der Sonne mit in die Höhe gerissen, und es erscheint dann an der Wurzel der Protuberanz eine Reihe heller Linien. Doch werden die letztgenannten Gase desto früher wieder zurücksinken, je größer ihre Dichte ist, und es nimmt deshalb in einer Protuberanz die Zahl der hellen Linien nach oben rasch ab, bis endlich nur die spezifisch leichtesten Gase, der Wasserstoff und sein unbekannter Begleiter (D_3), übrig bleiben.

Schließlich verdient noch erwähnt zu werden, daß man zuweilen in der Chromosphäre eine gleichzeitige Reversion eines großen Teils der Fraunhoferschen Linien beobachtet hat. Derartige Beobachtungen gelingen am besten auf hohen Bergen, weil auf diesen aus leicht begreiflichen Gründen das Spektrum des in unserer Atmosphäre zerstreuten Sonnenlichtes weniger störend einwirkt.

Das Auftreten der Protuberanzen ist zwar an keine bestimmte Region der Sonne gebunden; doch kommen die zahlreichsten, mächtigsten und intensivsten in der Region der Flecken vor. Ebenso ist der Charakter der Protuberanzen, welche in höheren Breiten, namentlich in der Nähe der Pole erscheinen, ein anderer. Diese gehören nämlich in der Regel den nebelartigen Protuberanzen kleinerer Art an, während die Strahlenprotuberanzen sich fast ausschließlich auf die Zone der Sonnenflecken beschränken. Der innige Zusammenhang der Strahlenprotuberanzen mit den Sonnenflecken ergiebt sich auch daraus, daß ihre Zahl mit der Zahl der Sonnenflecken steigt und fällt, und daß sie nach Respighi und Secchi beim Herannahen der Minimum-Epoche der Sonnenflecken so wie diese sich dem Äquator nähern. Ja, ihre Verbindung mit den Flecken geht so weit, daß Spörer, Secchi u. a. sie bloß als Vorläufer derselben betrachten, und daß Tacchini sogar glaubt, aus der Art ihres Auftretens die Bildung von Fleckengruppen vorhersagen zu können. Endlich ist es auch bereits mehrmals gelungen, auf großen Sonnenflecken die Protuberanzen direkt zu beobachten. Dies gelang z. B. Tacchini am 18. November 1882 bei dem schon einmal erwähnten (§ 21) großen Sonnenfleck, dessen Kern durch eine Lichtbrücke in zwei Partieen getrennt war. Durch

Verbreitern des Spaltes gab sich nun diese Lichtbrücke als eine schöne Protuberanzengruppe zu erkennen. Eine ähnliche Wahrnehmung machte Young am 28. September 1870. Übrigens haben Gautier, Spörer, Secchi u. a. bemerkt, daß intensive Protuberanzen einander häufig diametral gegenüberstehen, was vielleicht deshalb besonders beachtenswert ist, weil De la Rue, Stewart und Löwy auch bei den Sonnenflecken ein ähnliches Verhalten nachgewiesen haben.

Das Spektrum der Sonnenflecken unterscheidet sich von dem der übrigen Sonnenfläche hauptsächlich dadurch, daß in demselben ein Teil der Fraunhoferschen Linien breiter und intensiver erscheint, und daß in demselben auch dunkle Linien auftreten, die im allgemeinen Sonnenspektrum fehlen. Diese Erscheinungen weisen darauf hin, daß die absorbierende Gasschicht über den Sonnenflecken dichter oder kühler oder beides zugleich ist. Zuweilen hat man aber auch im Spektrum der Sonnenflecken die Umkehrung einzelner Fraunhofer'schen Linien, namentlich der Hydrogen-Linien C und F bemerkt.

§ 27. (Konstitution der Sonne.) Die Meinungen der Astronomen über die physische Beschaffenheit des Sonnenkörpers sind noch sehr geteilt, und zwar hauptsächlich deshalb, weil man über das Wesen der Sonnenflecken sich noch nicht einigen konnte. Man hielt dieselben gleich nach ihrer Entdeckung vielfach für Planeten, die sich wie Merkur und Venus, nur in geringerer Entfernung um die Sonne bewegen, und gab diesen vermeintlichen Planeten demgemäß auch besondere Namen. So nannte sie der Astronom Tarde die Lunas Borbonicas und Malapertius die Sidera austriaca, weil sie Scheiner, ein österreichischer Jesuit, entdeckt haben sollte. Andere hingegen waren der Ansicht, daß den an sich dunklen Sonnenkörper ein Lichtmeer bedecke, und daß dieses einer Art Ebbe und Flut unterworfen sei, durch welche zuweilen die unteren Gegenden, gleichsam Teile des Meeresbodens, oder auch früher bedeckte Berge bloßgelegt werden.

Diese beiden Hypothesen bedürfen heute wohl keiner umständlichen Widerlegung mehr; hingegen verdient eine größere Beachtung die Wilson-Herschel'sche Theorie, nach welcher die äußerste sphärische Umhüllung der Sonne aus einem Lichtmeere (Photosphäre) besteht, das durch ein zweites, unter ihm liegendes, äußerst elastisches und transparentes Fluidum immer in einer großen Höhe über der Sonne erhalten wird. Unter diesem Fluidum liegt eine dunkle wolkenartige Schicht, und unter dieser endlich erst der eigentliche feste, nicht selbst leuchtende oder wenigstens relativ dunkle Sonnenkörper. Wird nun durch Revolutionen irgend welcher Art die Lichtsphäre zerrissen, so türmt sich um die dadurch entstehenden Höhlen in der höchsten Sonnenschicht die zurückgedrängte Lichtmaterie gleichsam in leuchtenden Wänden auf, deren Licht, nachdem es durch die transparente zweite Hülle ungehindert durchgedrungen, die untere, dunkle Wolkenschicht erhellt und sie dadurch als aschgrauen, matt leuchtenden Flecken sichtbar macht, während die in der Nähe der Ränder dieses Fleckens zusammengedrängte Lichtsubstanz die Erscheinungen der Fackeln und Lichtknötchen hervorbringt. Sind aber die Revo-

lutionen so heftig, daß sie sich der Wolkenschicht mitteilen und auch diese zersprengen, so wird dadurch der eigentliche dunkle Sonnenkörper bloßgelegt und erscheint als der schwarze Kern des Fleckens, weil er nur sehr wenig Licht von der Photosphäre erhalten kann, indem er von der ihm zunächst liegenden wolkenartigen jetzt die Penumbra bildenden Schicht beschattet wird.

Mit dieser Theorie, welche der Hauptsache nach merkwürdigerweise schon im 15. Jahrhunderte durch Nikolaus von Cusa gleichsam intuitiv ausgesprochen wurde, erklärten sich die Zeitgenossen und spätere Astronomen fast ohne Ausnahme einverstanden; allein sie widerspricht den Prinzipien unserer heutigen Physik in mehrfacher Beziehung und wurde deshalb nach und nach ganz verlassen, ohne daß sich an ihrer Stelle eine andere Hypothese hätte allgemeine Giltigkeit verschaffen können; denn es ist die Lage der Sonnenflecken gegen die Photosphäre noch immer nicht festgestellt. Zwar hält die Mehrzahl der praktischen und theoretischen Astronomen, welche sich mit der Sonne beschäftigen (Schwabe, Secchi, Zöllner, Faye, Young u. a.), die Sonnenflecken für Vertiefungen in der Photosphäre; aber es fehlt auch nicht an Astronomen, welche sie ins Niveau derselben (C. H. F. Peters u. a.), ja selbst nicht an solchen, welche sie noch darüber hinaus, in die eigentliche Atmosphäre der Sonne verlegen (Kirchhoff, Spörer u. a.). Demgemäß divergieren auch die Ansichten über den Bau des Sonnenkörpers sehr bedeutend. Kirchhoff und mit ihm Spörer betrachten die Sonne als einen Feuerball in der höchsten Glühhitze, welcher nach Art unserer Erde mit einer Atmosphäre umgeben ist, in der ähnliche Vorgänge wie in der unsrigen stattfinden und lokale Temperatur-Erniedrigungen dort wie hier die Veranlassung zur Bildung von Wolken geben, nur mit dem Unterschiede, daß die Sonnenwolken ihrer chemischen Beschaffenheit nach von den unsrigen sehr verschieden sein werden. Egon v. Oppolzer hält dafür, daß diese Temperatur-Erniedrigungen verursacht werden durch eine vergrößerte Ausstrahlung der unteren Partieen der Sonnenatmosphäre, die infolge niedersteigender Luftströme überhitzt wurden. Zöllner sieht die Sonne zwar auch für einen Feuerball in der höchsten Glühhitze an, hält jedoch die Flecken trotz ihrer bedeutenden Veränderlichkeit im allgemeinen für beständiger, als dies mit einem wolkenartigen Aggregatzustande vereinbar wäre. Er stellt sich daher die Flecken als feste schlackenartige Abkühlungsprodukte des feurig flüssigen Sonnenkernes vor, die wegen ihrer größeren Dichte immer tiefer in denselben einsinken und dadurch nach und nach wieder überflutet werden. Andere Forscher (Secchi, Faye ꝛc.) schreiben dem ganzen Sonnenkerne, wenigstens in seinen oberen, für uns sichtbaren Schichten einen gasförmigen Aggregatzustand zu, sind aber nicht einig darüber, ob die Sonnenflecken durch kalte Luftströme, welche mit äußerster Vehemenz aus der Atmosphäre herabstürzen, oder durch Explosionen aus dem Innern des Sonnenkörpers entstehen, u. s. w. Übrigens sind die einzelnen Theorien um so schwerer detailliert wiederzugeben, als deren Urheber häufig Modifikationen an denselben vornehmen

und überhaupt kaum zwei Forscher zu finden sein dürften, deren Theorien in allen wesentlichen Punkten übereinstimmen. Wir wollen uns daher hier umsomehr mit den eben gegebenen kurzen Andeutungen begnügen, als keine der bisher aufgestellten Hypothesen die Periodicität der Flecken auf eine ungezwungene Art zu erklären imstande ist und daher jede mindestens als mangelhaft bezeichnet werden muß.

§ 28. (Leuchtkraft und Temperatur der Sonne.) Daß die Leuchtkraft der Sonne weit beträchtlicher ist als die irgend einer irdischen Lichtquelle, davon kann man sich durch ein einfaches Experiment leicht überzeugen. Hält man nämlich eine brennende Kerze oder Fackel zwischen Auge und Sonne, so verschwinden sie gleichsam für unsern Blick, indem sie sich auf der viel intensiveren Sonnenscheibe bloß als dunkele Flecken zeigen. Selbst die intensivsten Illuminatoren, die wir bisher hervorbringen können, das Drummond'sche oder Davy'sche, ja selbst das noch viel hellere elektrische Licht, bemerken wir nur als mattere Partieen auf dem noch viel helleren Hintergrunde der Sonne.

Die ersten eigentlichen Messungen der Leuchtkraft der Sonne versuchten Bouguer (1725) und Wollaston (1799) und bestimmten sie beide zu etwa 60 000 Normalkerzen in der Entfernung eines Meter. Neuere Untersuchungen erhöhen indes diese Zahl nicht unbedeutend, so unter anderen die von Crova auf 85 000, wobei überdies auf die Absorption des Sonnenlichtes in unserer Atmosphäre noch keine Rücksicht genommen ist. Da nun die Intensität des Lichtes umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung abnimmt (so daß sie z. B. in der Entfernung von 2, 3, 4, . . . Meter nur noch $^1/_4$, $^1/_9$, $^1/_{16}$ . . . von dem ist, was sie in der Entfernung von 1 Meter beträgt) und die Entfernung der Sonne in runder Summe sich auf 149 000 Millionen Meter beläuft, hat man, um die Zahl der Kerzen zu erfahren, welche, in die Entfernung der Sonne versetzt, denselben Effekt hervorbringen würden, das Quadrat von 149 000 Millionen mit 60 000 oder 85 000 zu multiplizieren, je nachdem man die älteren Angaben oder die von Crova annimmt. Man erhält dadurch die enormen Zahlen von 1330 oder 1890 Quatrillionen, — Zahlen, die mit 28 Ziffern geschrieben werden und ganz außerhalb des Bereiches unseres Fassungsvermögens liegen.

Aber auch die Temperatur der Sonne muß eine sehr hohe sein. Dies läßt sich schon daraus entnehmen, daß die durch die Sonnenstrahlen auf unserer Erde erregte Hitze das stärkste, ja eigentlich so ziemlich das einzige Entbindungsmittel von Wärme bildet (§ 4), und daß wir in den Brennpunkten starker Brenngläser schon in wenigen Augenblicken Gold und Platin schmelzen und Diamanten verflüchtigen können. Die strahlende Wärme nimmt aber ebenso wie das Licht mit dem Quadrate der Entfernung ab; wie stark muß daher nicht die Sonne auf Körper an ihrer eigenen Oberfläche wirken!

Diese sich von selbst aufdrängenden Schlußfolgerungen hat Langley im Jahre 1878 auch durch einen sehr instruktiven Versuch experimentell nachgewiesen.

Beim Bessemer-Prozeß werden die in einem birnförmigen Gefäße, dem „Converter", geschmolzenen Eisenmassen, nachdem Luft durch die Schmelze getrieben und dadurch die Temperatur mindestens auf 2000° gestiegen ist, nach Beendigung des Prozesses durch Neigen des Converters ausgegossen, und die blendend glänzende Oberfläche, gegen welche geschmolzenes Eisen dunkelbraun erscheint und eine Kontrastwirkung hervorbringt, als ob schwarzer Kaffee in eine weiße Schale gegossen würde, bietet eine Wärme und Licht ausstrahlende Fläche, die in ihrer Intensität und Helligkeit nur mit der Sonne verglichen werden kann. Platin schmilzt nicht nur, wenn man es in den flüssigen Strom steckt, sondern auch noch, wenn es in der Entfernung von mehreren Metern über der glühenden Metallfläche gehalten wird. Durch geeignete Apparate verglich nun Langley das Ausstrahlungsvermögen der Sonne mit dem des ausfließenden Metalles und fand das der Sonne mindestens 87- bis 100mal größer. Einen weiteren Beweis für diese Thatsache folgerte er aus der nachstehenden Betrachtung.

Wir wissen jetzt, daß, wenn die Temperatur eines Körpers steigt, die Wellen kürzerer Amplitude (d. h. die Licht- und chemischen Strahlen) rascher zunehmen als die längerer Amplitude (Wärmestrahlen). Wenn daher die Temperatur der Sonne wirklich viel höher ist als die des geschmolzenen Bessemerstahles, so muß das Sonnenlicht weit mehr als 100mal intensiver sein als dessen Licht. Dies ist auch nach Langley's Messungen in der That der Fall, indem er die Lichtstrahlung der Sonne mindestens 5300mal größer fand als die der glühenden Metallmasse.

Wie groß aber eigentlich die effektive Temperatur der Sonnenoberfläche sei, läßt sich vorläufig auch nicht einmal annähernd feststellen, da wir das Gesetz der Abhängigkeit der Wärmeausstrahlung von der Temperatur des Körpers, für höhere Temperaturen wenigstens, noch nicht kennen. Es darf uns daher nicht befremden, daß man unter verschiedenen Annahmen über dieses Gesetz Temperaturen der Sonne von 1500° bis 2000° (Pouillet, Vicaire, Violle u. a.) an bis auf viele Millionen Grade (Secchi, Waterston u. a.) erhält. Die Versuche von Langley haben indes mindestens so viel dargethan, daß die geringen, zum Teile noch unter die Schmelzwärme des Platins fallenden Angaben für die Temperatur der Sonne ganz unzulässig sind. Die untere Grenze dieser Temperatur dürfte vielmehr schwerlich unter, sondern eher über 20 000° zu suchen sein.

§ 29. (Erhaltung der Sonnenwärme.) Über das Wärmequantum, welches die Sonne ausstrahlt, sind wir etwas besser unterrichtet als über die Temperatur derselben. Die klassischen Versuche von Herschel und Pouillet haben dafür 17 Kalorien ergeben: d. h. die Sonnenstrahlen wären ohne Vorhandensein unserer Atmosphäre, welche etwa die Hälfte der emittierten Wärme absorbiert, imstande, auf jedem Quadratmeter der Erdoberfläche, auf welchen ihre Strahlen senkrecht auffallen, die Temperatur von 1 kg Wasser in 1^m um 17° C. zu erhöhen. Diese Zahl von 17 Kalorien wird jetzt gewöhnlich als Sonnenkonstante bezeichnet; sie ist

übrigens von den beiden oben genannten Forschern bedeutend unterschätzt worden, indem alle neueren Versuche erheblich größere Werte dafür ergeben, so die von Crova und Violle 24, die von Forbes und Langley 28, u. s. w. Langley hält übrigens auch seine Zahl noch für zu klein und glaubt, daß sie wenigstens auf 30 erhöht werden sollte. Bleiben wir indes, um ja nicht zu übertreiben, bei dem Werte 28 für die Sonnenkonstante stehen, so empfängt die Erde in jeder Minute von der Sonne 3581 Billionen Kalorien, — eine Wärmemenge, welche hinreichen würde, die Temperatur von 3581 Kubikkilometer Wasser um 1° C. zu erhöhen. In einem Jahre steigt die wärmende Kraft der Sonne bereits auf 1883 Trillionen Kalorien, und sie wäre imstande, auf der Oberfläche der Erde jährlich eine Eiskruste von 46·4 m Dicke abzuschmelzen!

Allein die Erde empfängt keineswegs die von der Sonne im ganzen ausgesandte Wärme, sondern nur einen sehr geringen Bruchteil derselben. Denn denkt man sich um die Sonne eine Hohlkugel, deren Halbmesser der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne gleich ist, so können auf der Peripherie derselben 2170 Millionen der Erde an Größe gleiche Kugeln nebeneinandergereiht werden, und es würde vermöge der allseitig geradlinigen Fortpflanzung von Licht und Wärme jede Kugel dieselbe Wärmemenge empfangen wie die Erde, so daß die Sonne im ganzen während einer Minute so viel Wärme ausstrahlt, daß $7^3/_4$ Billionen Kubikkilometer Wasser um 1° C. erwärmt werden könnten. Wie riesig groß diese Masse ist, kann man daraus entnehmen, daß eine aus dieser Wassermenge gebildete Kugel einen Durchmesser von 24 600 km haben müßte und unsern Erdball an Volumen um mehr als das Siebenfache übertreffen würde. Sind diese Zahlen schon an sich unfaßbar, so würden wir zu noch weit enormeren Summen geführt werden, wollten wir die in einem Jahre oder gar in Jahrtausenden ausgestrahlte Wärme angeben. Um sie jedoch unserem Vorstellungsvermögen einigermaßen näher zu bringen, wollen wir sie mit anderen kosmischen Größen vergleichen und uns den ganzen riesigen Sonnenkörper aus einem Klumpen guter Steinkohlen, deren Verbrennungswärme 7500 Kalorien betragen möge, bestehend und im heftigsten Brande begriffen denken. Dann wäre die Sonne nicht länger als 26 600 Jahre imstande, den erforderlichen Wärmeaufwand zu bestreiten.

Bei dieser erstaunlichen Ausstrahlung müßte ein Körper auch von der Größe unserer Sonnenkugel sich bald von der heftigsten Glühhitze abkühlen, wenn nicht ein angemessener Ersatz stattfände. Denn nimmt man auch die Wärmekapazität der Sonnenmasse sehr hoch an, nämlich gleich der des Wassers, und denkt man sich zugleich den Wärmeverlust, den sie durch Strahlung erleidet, auf ihre ganze Masse gleichförmig verteilt, so ergiebt sich doch für dieselbe eine jährliche Abkühlung von 2·9° C., wonach die Sonne in der historischen Zeit, dieselbe nur zu 5000 Jahren gerechnet, bereits eine Temperatur-Abnahme von 14 500° C. erlitten haben müßte.

Und doch ist an eine gleichförmige Abkühlung der ganzen Masse nicht zu denken; vielmehr müßte die Sonne, wenn ihre Ausstrahlung nur auf Kosten eines einmal gegebenen Vorrates von Wärme erfolgen sollte, offenbar in kurzer Frist sich mit einer erkalteten Kruste überziehen, welche fortan die Radiation hinderte. Die durch eine ungezählte Reihe von Jahrtausenden fortdauernde Thätigkeit der Sonne läßt also mit mathematischer Gewißheit auf einen dem großartigen Verbrauche entsprechenden Ersatz schließen.

In welchen Quellen sollen wir aber diesen Ersatz suchen? Chemische Prozesse, wie z. B. Verbrennungen, reichen, wie wir oben gesehen haben, selbst unter den allergünstigsten Voraussetzungen höchstens einige wenige Jahrtausende aus; elektrische Vorgänge etwa sind noch ungenügender, wo es sich um die Hervorbringung so großartiger und lange dauernder Effekte handelt. Es bleiben uns daher nur noch mechanische Prozesse übrig, von denen man auf den ersten Blick eine derartige Wirkung am allerwenigsten erwarten sollte, da die bei terrestrisch mechanischen Prozessen erzeugte Wärme der Menge nach in der Regel weit hinter der durch Verbrennung gewonnenen zurückbleibt. Die Ursache hiervon liegt jedoch darin, daß wir mit unsern Mitteln mechanische Prozesse in genügend großen Proportionen hervorzubringen nicht imstande sind. Man hat nämlich ermittelt, daß ein Körper, welcher mit der Geschwindigkeit von 85 m in 1^s gegen eine feste Widerlage stößt und dadurch zur Ruhe kommt, um 1^0 C. erwärmt wird, falls seine Wärmekapazität die des Wassers ist. Das ist nun für diese nicht unbedeutende Geschwindigkeit wenig genug; allein da nach den Gesetzen der Mechanik der Effekt dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional wächst, so muß der Körper, wenn er sich 100mal schneller oder mit einer Geschwindigkeit von 8500 m ($1^1/_{10}$ Meile) bewegt, bei einem Stoße, der ihm dieselbe gänzlich raubt, eine Temperaturerhöhung von $10\,000^0$ C. erhalten, also bereits eine größere, als er durch das Verbrennen eines gleichen Gewichtes Steinkohlen erhielte.

Allerdings können wir auf unserer Erde so große Geschwindigkeiten nicht erzielen; aber im Weltall kommen oft weit größere vor. Schon die sogenannten Meteorsteine (Kap. XIV), kleine Himmelskörperchen, welche wie die Erde um die Sonne laufen und von der ersteren, wenn sie in ihre Anziehungssphäre gelangen, zum Falle auf sie herab genötigt werden, treten mit einer Geschwindigkeit von 15 bis 75 km in der Sekunde in unseren Luftkreis. Weil nun dieser die Bewegung rasch verlangsamt, tritt eine so große Wärmeentwickelung ein, daß die Meteorsteine in die heftigste Glühhitze geraten und lebhaft Funken sprühen, ja in diesem Verbrennungsprozesse meist ganz verzehrt werden und dabei die bekannten Erscheinungen eines Sternschnuppenfalles liefern. Zwingt aber bereits die Erde kosmische Massen, die in ihre Nähe geraten, mit sehr bedeutender Geschwindigkeit auf sie herabzustürzen, um wie viel mehr muß dies nicht bei der um so vieles mächtigeren Sonne der Fall sein! Es ist auch nicht schwer zu berechnen, daß eine im Weltraume befindliche Masse, wenn sie in die Anziehungssphäre der

Sonne geführt und dadurch zum Sturze auf dieselbe gezwungen wird, mit einer Schnelligkeit von 630 km in der Sekunde auf der Oberfläche dieses Centralkörpers anlangt. Diese riesige Schnelligkeit verliert sie plötzlich beim Zusammenstoßen mit der Sonne, und würde die dadurch frei werdende lebendige Kraft bloß in Wärme übergeführt, so müßte die stürzende Masse eine Temperaturerhöhung von $52^1/_4$ Millionen Grad C., oder die millionfache Masse eine solche von $52^1/_4{}^0$ C. erfahren. Dabei wird stets vorausgesetzt, daß die Wärmekapazität der Masse gleich sei der des Wassers, d. h. daß eine gewisse Wärmemenge ihre Temperatur um dieselbe Anzahl Grade erhöht wie die Temperatur eines gleichen Gewichtes Wasser. Ist die Wärmekapazität geringer, etwa die des Eisens oder Queckſilbers, welche beziehungsweise $^1/_9$ und $^1/_{33}$ von jener des Wassers beträgt, so würde die Temperaturzunahme im inversen Verhältnis gesteigert, also noch 9- oder gar 33 mal größer gefunden werden.

Aus dem Gesagten dürfte wohl klar werden, daß, wenn auch mechanische Prozesse in jenen Verhältnissen, in denen sie auf der Erde auftreten, im allgemeinen mit anderen, wie chemischen ꝛc., insoferne es auf Wärme-Entwickelung ankommt, sich nicht messen können, dennoch die bei weitem ergiebigste und intensivste Wärmequelle werden, wenn sie nach jenen großartigen Verhältnissen in Anwendung kommen, in welchen wir ihnen im Universum begegnen. Es nahm auch bereits Newton, der Erste, der über die Konstitution des Weltalls sich klarere Begriffe gebildet hat, einen sich stets wiederholenden Sturz kometarischer Materien auf den Centralkörper an, um die fortwährende Verminderung der Sonnenmasse durch Ausstrahlung von Licht und Wärme zu decken. Dieser große Naturforscher hielt, wie oben erwähnt, Licht und Wärme für von den leuchtenden und erwärmenden Körpern ausströmende materielle Substanzen und erblickte, dieser Ansicht konsequent, in dem Ausstrahlen von Licht und Wärme einen Grund zu fortwährendem Verluste ponderabler Materie. Vermöge unserer jetzigen Anschauungsweise können wir allerdings die Vorstellung einer eigentlichen ponderablen Nahrung vermeiden, durch welche das Sonnenfeuer unterhalten werden soll; jedoch auch nach der Vibrationstheorie besteht das Ausstrahlen von Licht und Wärme noch immer in einem rein materiellen Vorgange, in einer Bewegung, einem Erzittern Widerstand leistender Substanzen. Nicht unpassend kann man nach unserer heutigen Vorstellungsweise die Sonne mit einer tönenden Glocke vergleichen. Würde diese, ohne irgend einen Widerstand zu erfahren, sich bewegen, so könnte und müßte sie die ihr mitgeteilte Schwingung für alle Zeiten beibehalten; ein Ton würde aber hier nicht entstehen; denn ein solcher besteht wesentlich in der Fortpflanzung der Bewegung, und in dem Maße, als die Glocke ihre Schwingungen der Widerstand leistenden Umgebung mitteilt, verliert sie notwendig selbst an Bewegung und kehrt dadurch endlich in den Zustand der Ruhe zurück. Soll sie dann wieder tönen, so muß sie abermals durch eine äußere Gewalt angeschlagen,

d. h. in neue Schwingungen versetzt werden, und diese Gewalt ist die Ursache des Forttönens.

Was hier von der Glocke gesagt wurde, gilt in ganz gleicher Weise von der Licht und Wärme spendenden Sonne; denn diese beiden Geschenke der Sonne bestehen aus ähnlichen Vibrationen wie die Schallwellen. Die Sonne bedarf zwar nicht des Sturzes kosmischer Massen, um ihr Gewicht unverändert zu erhalten, denn sie hat keine ponderable Masse abgegeben; durch das Ausstrahlen hat sie aber lebendige Kraft verloren, und solche führt ihr, wie wir gesehen haben, jede Masse, die sich mit ihr vereinigt, in enormen Quantitäten zu. Die Kometen zwar, zu denen Newton seine Zuflucht nahm, sind allein nicht imstande, den Wärmeausfall zu decken. Denn wir wissen jetzt, daß die Masse jedes einzelnen dieser Himmelskörper viel zu geringfügig ist, um der Sonne für eine längere Zeit Ersatz an lebendiger Kraft zuführen zu können, und dürfen andererseits nicht vergessen, daß sie die Sonne als Centralkörper umkreisen und deshalb nur ganz vereinzelt mit ihr zusammenstoßen werden.

In dieser Verlegenheit kommt uns aber die weitere Organisation unseres Systemes zu Hilfe. Denn außer den Planeten und Kometen scheint der Raum unseres Sonnensystemes noch mit einer großen Zahl ponderabler Objekte bevölkert, nämlich Konglomeraten von Massen, die ihrer verhältnismäßig außerordentlich geringen Größe wegen als kosmische Atome angesehen werden können und in elliptischen Bahnen, den Gesetzen der Schwere folgend, die Sonne umkreisen. Diese ganze ponderable Materie unseres Sonnensystemes, die Planeten und Kometen mit eingeschlossen, ist aber notwendigerweise in einer beständigen Annäherung an den Centralkörper begriffen. Denn in keinem Falle können wir die zwischen den einzelnen Körpern unseres Systemes befindlichen Räume als absolut leer betrachten, indem wenigstens der Äther, jenes elastische Fluidum, das zur Fortpflanzung von Licht und Wärme unbedingt nötig ist, dieselben ganz durchdringen muß. Aber das Vorhandensein dieses Äthers zugegeben, müssen die Himmelskörper bei ihrer Bewegung einen, wenn auch noch so geringen Widerstand erfahren und können sich nicht wie in einer absoluten Leere, in immer gleichbleibenden geschlossenen Bahnen bewegen, sondern werden durch dieses Widerstand leistende Medium genötigt, immer kürzere und kürzere Bahnen um die Sonne zu beschreiben und endlich bleibend sich mit ihr zu vereinigen. Wie lang auch die Dauer und wie groß auch die Zahl ihrer Umläufe sein mag, so finden dennoch alle wandernden Himmelskörper in jenem Centrum, das ihnen ungemessene Jahrtausende hindurch Leben spendete, ihr gemeinsames Grab, in welches sie endlich mit einem heftigen Stoße stürzen und so beständig Wärme auf dem Centralkörper dieses kosmischen Systems erzeugen, damit sich jene Glieder desselben, über welche diese Katastrophe bisher nicht hereingebrochen, noch ferner ihres Daseins erfreuen können.

Nach dem eben Gesagten, das in den Hauptzügen von J. R. Mayer her-

rührt, scheint also die Erhaltung der Sonnenwärme durch auf den Centralkörper stürzende Massen in der Organisation unseres Systems begründet. Fragen wir aber, ob bei der erstaunlichen Ausstrahlung diese Ursache allein hinreicht, den Verlust an lebendiger Kraft zu ersetzen, so können wir uns dies allerdings als möglich denken, wenn wir nur eine hinreichende Masse kosmischer Materie annehmen; allein in diesem Falle würde die Masse der Sonne in kurzer Zeit sich so vermehren, daß dies nicht ohne Rückwirkung auf die Dauer der Umlaufszeit der Planeten, die eben durch die Masse der Sonne reguliert wird, bleiben könnte, und da ein solcher Einfluß sich noch nicht bemerkbar gemacht hat, muß die Hauptquelle der Sonnenwärme aus anderen Ursachen hervorgehen, wenn auch ein kleiner Teil derselben dem Sturze kosmischer Massen ihre Entstehung verdanken mag. Es hat nun zuerst Helmholtz noch auf ein anderes Entbindungsmittel von Wärme hingewiesen, das bei näherer Betrachtung gerade als das kräftigste sich herausstellt. Bekanntlich ziehen sich beim Erkalten die Körper zusammen, und es wird daher, wenn die Sonnenoberfläche, diese in der Glühhitze angenommen, durch Ausstrahlung erkaltet, die Peripherie des Sonnenkörpers sich zusammenzuziehen trachten und dadurch auf die unterhalb befindlichen Teile einen Druck ausüben, der eine desto intensivere Wärmeentwickelung zur Folge hat, je stärker er ist. Diese Wärmeentwickelung würde nun nach den Berechnungen von Helmholtz schon bei einer Verkleinerung des Sonnendurchmessers um $^1/_{10000}$ seines Betrages oder um 139 km die Temperatur einer der Sonne gleichen Wassermasse um 2860° C. erhöhen. Dem Obigen zufolge sollte sich aber die Sonne vermöge ihrer Wärmestrahlung jährlich nur um 2·9° abkühlen; es würde daher diese Verkleinerung genügen, den gesamten Wärmeverbrauch durch nahezu ein Jahrtausend zu decken, und so hätten wir in der eigenen Abkühlung der Sonne selbst das Mittel gefunden, den jetzigen Zustand durch riesige Zeiträume unverändert zu erhalten. Mit Berücksichtigung aller hierbei in Betracht kommenden Faktoren, insbesondere der Wahrscheinlichkeit einer größeren Dichtigkeit im Sonneninneren, und einer größeren Lebhaftigkeit der Strahlung in früheren Zeiten hält Thomson dafür, daß man nicht mehr als 20 Millionen Jahre der Sonnenthätigkeit in der Vergangenheit, und 5 bis 6 Millionen Jahre für die Zukunft annehmen dürfe.

Endlich hat Aitken darauf aufmerksam gemacht, daß es nicht nötig sei, um die Constanz der Sonnenstrahlung, wenigstens für beträchtliche Zeiten, zu erklären, die Temperatur der Sonne als unveränderlich vorauszusetzen. Es ist nämlich bekannt, daß die Strahlungskraft mit der Form des Materials veränderlich ist, daß z. B. die Flamme eines Bunsen'schen Brenners weniger Wärme ausstrahlt, als eine gewöhnliche Gasflamme, obgleich sie eine höhere Temperatur hat. Ebenso strahlen die Elemente in der Regel selbst weniger Wärme aus, als ihre Verbindungen, und diese desto mehr, je zusammengesetzter ihre Molekularstruktur ist. Da nun bei Temperaturerniedrigung einfachere Verbindungen in

zusammengesetztere übergehen, kann die Temperatur der Sonne sehr wohl abnehmen, ohne daß dabei eine entsprechende Abnahme in der ausgestrahlten Energie eintreten müßte, wenn nur gleichzeitig ein Wechsel der chemischen Konstitution unseres Centralkörpers eintritt.

Kapitel II.

Hypothetische intramerkurielle Planeten.

§ 30. (Apriorische Vermutungen.) Vor nunmehr 3 Decennien schien sich die Möglichkeit einer so ganz eigentümlichen Erweiterung der Kenntnis unseres Sonnensystems zu eröffnen, daß wir zur Darlegung des sich daran knüpfenden Herganges hier etwas weiter ausholen zu dürfen glauben.

Le Verrier, der berühmte theoretische Entdecker des Neptun, hatte es sich zur Lebensaufgabe gestellt, die Bahnelemente der 8 großen Planeten unseres Sonnensystemes einer genauen Revision zu unterziehen und für dieselben eine auf der Höhe unserer Zeit stehende Neuberechnung zu liefern. Infolgedessen beschäftigte er sich in der letzten Hälfte der fünfziger Jahre sehr eingehend mit dem Planeten Merkur und verglich zur Kontrolle der gefundenen Elemente desselben diese unter anderem auch mit den in den letzten anderthalb Jahrhunderten beobachteten 21 Vorübergängen des Planeten vor der Sonnenscheibe, weil sich aus ihnen der gegenseitige Abstand des Centrums von Sonne und Merkur für gewisse Momente mit einer weitaus größeren Sicherheit ermitteln läßt, als die damaligen Meridianbeobachtungen zu liefern imstande waren. Dabei zeigte sich nun die auffallende Thatsache, daß zwischen den beobachteten und berechneten Orten Merkurs systematische Unterschiede übrig blieben, die nur allenfalls durch gewaltsame Annahme wie z. B. daß Männer wie Lalande, Cassini, Bouguer u. a. um ganze Minuten bei Beobachtung der Berührungen der Ränder von Sonne und Merkur sich geirrt hätten, wegzubringen wären, abgesehen von dem in solcher Weise ganz unerklärlichen regelmäßigen Steigen und Fallen, welches jene Unterschiede zeigen. Was aber noch merkwürdiger: er fand, daß man durch einfache Vermehrung der säkularen Bewegung des Periheles von Merkur allen 21 Durchgängen mit einem Male größtenteils bis auf halbe Sekunden Genüge leistet und nur in einigen Fällen Abweichungen von wenigen Sekunden erübrigen. Da diese empirische Korrektion so wirkungsvoll ist, so geht daraus zugleich die Notwendigkeit einer Modifikation der Merkurs-Theorie hervor, und es bleibt zunächst zu untersuchen, ob nicht etwa eine Änderung der bisherigen Annahmen über die Massen der anderen Planeten, welche bei den Störungen Merkurs in Betracht kommen, die gewünschte Vergrößerung der Säkular-Bewegung der Absidenlinie hervorzubringen vermag.

Le Verrier erörtert dann, daß dies nicht angeht. Denn, wenn man den Grund der Abweichung bei Venus voraussetzen wollte, müßte man ihre Masse um $^1/_{10}$ der bisherigen Annahme verbessern, eine Änderung, die vermöge des dadurch in der Erd-Theorie erzeugten Fehlers unzulässig wäre. Zu ähnlichen Schlußfolgerungen würde man auch geführt, wollte man die Massen anderer Planeten in genügendem Maße ändern. Le Verrier neigt sich deshalb der Ansicht zu, daß man einen bisher nicht gesehenen Planeten zwischen Merkur und Sonne annehmen dürfe, der jene Abweichungen hervorruft. Da keine ähnliche Diskordanz in der Bewegung der Knoten Merkurs wahrzunehmen ist, müßte die Bahn dieses vermuteten neuen Planeten nur wenig gegen die Merkursbahn geneigt sein. Außerdem bestehen noch gewisse Bedingungen, welche die supponierte Masse dieses neuen Himmelskörpers mit seiner Distanz von der Sonne verbinden, ähnlich denen, die man in den Nachforschungen für Neptun (Kap. X) zu machen genötigt war; denn um die gewünschte Ungleichheit hervorzubringen, muß man die Masse des hypothetischen Planeten um so mehr vergrößern, je kleiner man die Distanz desselben von der Sonne annimmt, und umgekehrt. Für eine Distanz, die etwas unter der Hälfte der Distanz Merkurs von der Sonne wäre, müßte die Masse derjenigen Merkurs gleich sein, was kaum zulässig. Dem Einwurfe der Unwahrscheinlichkeit der Existenz eines solchen Planeten, der wegen seiner Nähe bei der Sonne notwendig bedeutenden Glanz besitzen müßte und bisher nicht gesehen wurde, begegnet Le Verrier dadurch, daß er an die Stelle eines Planeten eine Menge kleinerer Körperchen, Asteroiden setzt, die innerhalb der Merkursbahn um die Sonne laufen, deren vereinigte Wirkung jener des einen Planeten gleicht, die aber ihrer Kleinheit wegen sich bisher unsern Augen entzogen hätten.

Le Verrier fragt: „Sollte nicht manches von den größeren dieser Körperchen bei ihren zufälligen Vorübergängen vor der Sonnenscheibe entdeckt werden können? Vielleicht finden sich die Astronomen, welche sich mit Überwachung der Sonnenscheibe befassen, durch diese Betrachtungen bewogen, den Bewegungen der kleinsten Sonnenflecke mit aller Aufmerksamkeit nachzuspüren."

§ 31. (Scheinbare Bestätigung durch die Erfahrung.) Man sieht aus dem Obigen, daß Le Verrier, der nach Vollendung seiner trefflichen Arbeit über die Bahnen sämtlicher großen Planeten im Jahre 1874 dieselben Ansichten nur um so entschiedener äußerte, daran ging, die Grenzpfähle unseres Planetensystemes in ähnlicher Weise nach innen zu verrücken, wie ihm dies mit Neptun schon nach außen geglückt war. Und auch diesmal schienen seine Voraussagen sich ebenso rasch bewahrheiten zu sollen. Denn bald, nachdem Le Verrier in der Pariser Akademie seine Ansichten über diesen Gegenstand bekannt gemacht hatte, verbreitete sich in Paris das Gerücht, daß bereits ein neuer unterer Planet gesehen worden sei. Gegen Ende des Jahres 1859 wurden ihm so bestimmte Mitteilungen darüber gemacht, daß er es für seine Pflicht hielt, der

Sache auf den Grund zu gehen. Zugleich ergriff er die nötigen Maßregeln, um jede etwaige Täuschung zu verhindern. Mit Name und Adresse des vermeintlichen Entdeckers Lescarbault versehen, reiste er am letzten Sonnabend des Jahres nach Orgères (Departement Eure et Loire) ab, begleitet von einem Freunde, um einen Zeugen seines Verfahrens zu haben, und trat unversehens in das Haus des Herrn Lescarbault, der in dem eben genannten Städtchen den Landarzt macht. Herr Lescarbault wurde einem strengen Kreuzexamen von seinem unbekannten Gaste unterworfen, der alles Schritt für Schritt prüfte, bis er hinreichende Evidenz erlangt zu haben glaubte, um nicht länger an der Realität der Beobachtung wie an der Glaubwürdigkeit des Beobachters zweifeln zu können.

In der ersten Sitzung der Pariser Akademie nach seiner Rückkehr von Orgères kündigte Le Verrier an, daß am Nachmittage des 26. März 1859 ein kleiner dunkler Körper auf seinem Durchgange vor der Sonnenscheibe von Herrn Lescarbault beobachtet worden sei, und daß alles dafür spräche, diesen Körper für einen neuen unteren Planeten halten zu müssen. Zugleich erwähnte Le Verrier, daß die Beobachtungen Lescarbault's hinreichten, um dem neuen Himmelskörper etwa 0·1427 (in Teilen der mittleren Entfernung der Sonne von der Erde) als Distanz von der Sonne, eine Umlaufszeit von weniger als 20 Tagen, eine Länge des aufsteigenden Knotens von 13° und eine Neigung der Bahn gegen die Ekliptik von 12° bis 13° anzuweisen.

Herr Lescarbault übergab später einen schriftlichen Bericht seiner Beobachtung Herrn Le Verrier zur Veröffentlichung, in welchem er sagt, daß, nachdem er Zeuge des Merkurdurchganges im Jahre 1845 gewesen sei, er von vornherein in jenem dunklen Körper einen unteren Planeten vermutet und in seiner Zurückgezogenheit die Entdeckung für sich behalten habe in der Hoffnung, irgend etwas über die Entfernung des Körpers von der Sonne herauszubringen oder wieder einen Durchgang zu beobachten. Aber er sei eben nur ein mittelmäßiger Geometer und durch seinen Beruf sehr in Anspruch genommen; so habe er endlich beschlossen, das Stillschweigen zu brechen, als er die Nachricht von Le Verrier's theoretischen Untersuchungen gelesen.

Herr Lescarbault sah den Körper erst, als derselbe bereits ziemlich weit in die Sonnenscheibe eingetreten war, und schätzte die Zeit des eigentlichen Eintrittes auf $4^h\ 0^m$ Ortszeit von Orgères, indem er die Zeit beobachtete, die der angebliche Planet brauchte, um dasselbe Intervall vor der Sonne zurückzulegen. Im weiteren Verfolge des Durchganges maß er dann wiederholt den Abstand des Körpers vom Sonnenrande, und sah ihn um $5^h\ 47{\cdot}2^m$ austreten. Der geschätzte Diameter war beiläufig $^1/_4$ von dem Merkurs bei seinem oben genannten Vorübergange; da dieser Durchmesser 11·6″ betrug, so würde für den neuen Körper ein scheinbarer Diameter von etwa 3″ folgen.

Es hat an Zweifeln über Lescarbault's vermeintliche Entdeckung gleich anfangs nicht gefehlt. Namentlich wollte Liais, ein französischer Astronom, der

sich damals in Brasilien aufhielt, alles in Frage gestellt sehen, weil er genau zur selben Zeit wie Lescarbault die Sonne durchmustert und nichts außerordentliches bemerkt hatte. Solche Negationen haben aber bekanntlich immer und besonders hier ihr Mißliches. Gewichtiger hingegen ist ein anderer Einwurf desselben Astronomen, daß nämlich der hypothetische Planet bei seiner Nähe an der Sonne und seiner immer noch bedeutenden Größe längst, wenigstens bei totalen Sonnenfinsternissen, durch seinen bedeutenden Glanz sich hätte bemerklich machen müssen. Demgegenüber wurde indes bemerkt, daß Lescarbault's Beobachtung keineswegs vereinzelt dasteht, sondern daß ähnliche Wahrnehmungen ziemlich häufig vorkommen. Von diesen wollen wir hier nur jene mitteilen, welche später gebraucht werden, und gleich hier beifügen, daß alle jene Beobachtungen von vornherein als gar nichts beweisend ausgeschieden wurden, in welchen nur erwähnt wird, daß ein wohlbegrenzter Fleck auf der Sonnenscheibe gesehen wurde, der am andern Tage fehlte, oder wo bloß gesagt wird, daß er Eigenbewegung zu haben schien, weil, wie leicht ersichtlich, der Deklinationskreis bei der täglichen Bewegung eine Drehung um die Höhenkreise beschreibt, die nacheinander passiert werden. Es scheint deshalb bei Beobachtungen mittelst eines nichtparallaktisch aufgestellten Fernrohres ein Sonnenfleck, namentlich dann, wenn er in der Nähe des Randes sich befindet, eine Bewegung auf deren Scheibe auszuführen, was aber von Liebhabern der Astronomie häufig übersehen zu werden pflegt.

Am 6. Juni 1761 glaubte Scheuten in Krefeld einen runden wohl begrenzten Fleck, den er seiner Größe nach auf ein Viertel der Venusscheibe schätzte, die Sonne durchziehen gesehen zu haben.

Den 18. Januar 1798 sah d'Angos zu Tarbes einen runden, scharf begrenzten Fleck die Sonne in 2 Stunden durchwandern.

Den 10. Oktober 1802 sah Fritsch zu Quedlinburg einen kleinen runden Fleck vor der Sonne vorbeigehen.

Am 6. Januar 1818 sah Capel Lofft zu Ipswich einen elliptischen gleichförmig dunklen Fleck von 6″ bis 8″ Durchmesser mit starker westlicher Bewegung vor der Sonne.

Am 12. Februar 1820 bemerkte Stark um Mittag auf der Sonne einen sonderbaren, wohl begrenzten runden Fleck von der doppelten Größe Merkurs mit Spuren einer Atmosphäre, der abends nicht mehr sichtbar war. An demselben Tage sah ein Wiener Liebhaber der Sternkunde, Steinheibel, einen Flecken, den er sehr ähnlich wie Stark beschreibt, in 5 Stunden vor der Sonnenscheibe vorbeiziehen.

Am 2. Oktober 1839 sah Decuppis am Collegio Romano einen schwarzen, vollkommen runden, scharf begrenzten Fleck von rascher Bewegung, so daß derselbe den Durchmesser der Sonne in beiläufig 10 Stunden durchlaufen hätte.

Zwischen Ende Juni und Anfang Juli 1847 bemerkten Scott in London und Wray in Whitby eine ähnliche Erscheinung.

Den 12. März 1849 sahen Sidebotham und Lowe beiläufig um 4 Uhr nachmittags einen kleinen kreisförmigen schwarzen Fleck während einer halben Stunde sich vor der Sonne bewegen.

Am 20. März 1862 sah Lummis, ein Liebhaber der Astronomie zu Manchester, während er die Sonnenscheibe nach Sonnenflecken durchsuchte, um $8^h\ 28^m$ einen sehr kleinen schwarzen Fleck, kreisrund und scharf begrenzt, von kaum 7″ Durchmesser. Derselbe stand unter einem größeren Fleck; von beiden nahm Lummis eine Skizze. Es schien ihm gleich, als hätte der kleine Fleck eine starke eigene Bewegung; in 22^m legte derselbe in der That einen Weg zurück, den Lummis auf 12′ schätzte, während Hind nach der Zeichnung dafür nur 6′ fand. Lummis, seines Zeichens ein Eisenbahnbeamter, wurde dann aber abgerufen und konnte deshalb den Austritt des Fleckes nicht abwarten.

Den 8. Mai 1865 morgens sah A. Coumbary zu Konstantinopel einen nahezu runden Körper von einem mehrteiligen Sonnenfleck sich loslösen und die Sonnenscheibe in 48^m, offenbar im umkehrenden Fernrohre, von rechts nach links durchwandern.

Die Beobachtung von Lescarbault, welche, wie man sieht, vor die beiden hier zuletzt aufgeführten Wahrnehmungen fällt, hatte die Aufmerksamkeit mehrerer Astronomen dem Gegenstande zugewendet. Es beschäftigten sich außer Le Verrier noch Carrington, Hind, Oeltzen und Radau mit der Aufgabe, die Bahn des fraglichen, von mehreren Seiten schon mit einem Namen (Vulkan) bedachten Planeten so gut zu bestimmen, als es eben mit so schwankenden Grundlagen angeht. Die Zeiten weiterer Vorübergänge des supponierten Himmelskörpers vor der Sonnenscheibe, welche sich aus diesen Untersuchungen ergaben, wurden allseitig auf das sorgfältigste überwacht; man widmete der Sonne im allgemeinen, unter andern auch an der Wiener Sternwarte, viel mehr Aufmerksamkeit, als dies je früher geschehen; die totale Sonnenfinsternis vom 18. Juli 1860 und alle folgenden wurden in dieser Beziehung auf das beste benützt, aber alles blieb einstweilen ohne Erfolg, Vulkan wurde nicht wieder gesehen; denn die Beobachtungen von 1862 und 1865 fügten sich nicht in dessen Bahn.

Veranlaßt durch diese Vorkommnisse, machte Henrick in New-Haven (Connecticut) bekannt, daß er seit 10 Jahren mit einer Arbeit über die Existenz intramerkurieller Planeten beschäftigt sei und die Beobachtungen derselben sammle. Im Jahre 1847 hatte er sogar mit seinem Freunde Bradley die Jagd nach einem solchen Himmelskörper förmlich begonnen und zu diesem Behufe die Sonnenscheibe und ihre nächste Umgebung regelmäßig durchmustert; aber auch diese Versuche waren erfolglos.

Dem amerikanischen Astronom D. Kirkwood in Postville, der sich vielfach mit der Aufstellung ähnlicher Regelmäßigkeiten, wie die nach Titius genannte Analogie (s. unten Kap. VI) über die Entfernungen der Planeten von der Sonne beschäftigt hat, fiel es auf, daß sowohl nach den Durchmessern als nach den

Dichten sich von Venus an eine paarweise Anordnung zeigt, wenn man für den Raum, in welchem sich die Asteroiden bewegen, statt dieser letzteren einen Planeten etwa von der Größe des Mars setzt, so daß also Venus und Erde, Mars und der Vertreter der Asteroiden, Jupiter und Saturn, Uranus und Neptun diese Paare bilden, während Merkur allein steht; demnach wäre auch nach dieser Art, die Sache anzusehen, ein Genosse Merkurs zu erwarten, der nämlich in jenen beiden Eigenschaften mit ihm beiläufig übereinstimmte.

Ein weiterer Versuch, dem rätselhaften Gestirne auf die Spur zu kommen, rührt vom Kriegsrat Haase in Hannover her, der Beobachtungen eines angeblichen Venusmondes vom Jahre 1761, die uns von Montaigne u. a. zukamen, auf einen Planeten bezog und daraus Bahnelemente ableitete, welche die oben erwähnten Wahrnehmungen von d'Angos und Capel Lofft allerdings nahe darstellen. Aber auch die hierdurch angeregten Nachforschungen gegen Ende 1862 blieben ohne Erfolg, wie denn auch eine Bahn, die sehr begreiflich mit der von Venus beinahe zusammenfiel, wenig geeignet war, Vertrauen zu erwecken.

Bei der totalen Sonnenfinsternis vom Jahre 1869 hat Gould in Burlington (Iowa) einen Fixstern nahe 6. Größe in nur 5′ Entfernung von der Sonne wahrgenommen, aber in einer durch die Sonne gehenden ekliptischen Zone von 80′ Breite bis 5^0 westlich und $3^1/_2{}^0$ östlich von der Sonne kein anderes Gestirn gesehen. Ähnliches beobachtete zu gleicher Zeit Gilman in Sioux-City (Iowa), und ebenso konnte Newcomb in Des Moines (Iowa) keinen besonderen Himmelskörper in der Nähe der verfinsterten Sonne bemerken.

§ 32. (Schluß-Untersuchungen von Le Verrier und Oppolzer.) Die Angelegenheit ruhte nun eine geraume Weile, bis eine Beobachtung von Weber in Peckeloh, der am 4. April 1876 eine auffallend runde dunkle Scheibe auf der Sonne bemerkte, Le Verrier wieder veranlaßte, sich mit den vermuteten intramerkuriellen Planeten näher zu befassen, obgleich jene Scheibe durch gleichzeitige Beobachtungen an anderen Orten sich bald als ein nur eben ungewöhnlich scharf begrenzter Sonnenfleck erwies.

Le Verrier scheidet zuerst alle Wahrnehmungen aus, die ihm eine hinreichende Grundlage zu strengerer Untersuchung nicht zu bieten scheinen, und behält nur folgende, nach den Monaten in Gruppen gereihte Beobachtungen bei.

I. Januar 6, 1818, Capel Lofft; Februar 12, 1820, Stark und Steinheibel.

II. März 12, 1849, Sidebotham; März 26, 1859, Lescarbault März 20, 1862, Lummis.

III. Juni 6, 1761, Scheuten; Juni-Juli 1847, Scott und Wray; Mai 8, 1865, Coumbary.

IV. Oktober 10, 1802, Fritsch; Oktober 2, 1839, De Cuppis.

Die Beobachtungen der Gruppen I und III lassen sich mit denen der

Gruppen II und IV nicht vereinigen; denn ein Körper, der am 12. Februar vor der Sonne erschien, kann nicht Ende März oder Anfang Oktober wieder auf derselben sich zeigen, ausgenommen, er bewegte sich in einer sehr wenig gegen die Ekliptik geneigten Bahn, in welchem Falle er aber bei seiner raschen Bewegung schon sehr oft vor der Sonne hätte gesehen werden müssen.

Le Verrier zieht also einstweilen nur die Gruppen II und IV in Betracht und zeigt, daß diese fünf Beobachtungen sich ganz wohl auf einen und denselben Himmelskörper beziehen lassen.*) Um zu erfahren, inwiefern man dieser Hypothese vertrauen darf, wenn es sich darum handelt, einen künftigen Vorübergang vorauszusagen, nimmt er sehr sinnreich an, man kenne von Merkur nur die Tage von vier Passagen (1789, 1802, 1832, 1845) vor der Sonne, und findet, daß man daraus mit derselben Methode den im Jahre 1848 beobachteten Vorübergang auf einen Tag genau bestimmen kann.

Le Verrier macht nun weiter auf den bisher übersehenen Umstand aufmerksam, daß, wie die Durchgänge von Merkur und Venus (s. unten §§ 41 und 50) vor der Sonnenscheibe, so auch die der intramerkuriellen Planeten periodenweise auftreten werden, und bestimmt die Dauer dieser Periode auf etwa 16 Jahre. Innerhalb eines solchen Zeitraumes treten durch 8 bis 9 Jahre jährlich Durchgänge des Planeten vor der Sonnenscheibe ein, während in den folgenden 8 Jahren keiner mehr stattfindet. Eine solche günstige Periode für Durchgänge beim aufsteigenden Knoten begann am 8. April 1853 und endete am 19. März 1862; Lescarbault und Lummis beobachteten also am Ende dieser günstigen Zeit, und es ist daher erklärlich, warum in den folgenden Jahren kein fernerer Durchgang gesehen wurde. Im Jahre 1869 begann aber am 9. April abermals eine günstige Zeit, die bis zum 22. März 1877 dauerte; warum nun von den 9 Durchgängen während dieser Epoche, trotz der großen Aufmerksamkeit, die man grade in den letzten Jahrzehnten der Sonne zuwendete, keiner gesehen wurde, erörtert Le Verrier nicht weiter.

Beim niedersteigenden Knoten finden ganz ähnliche Verhältnisse statt. Hier fallen die günstigen Zeiten der letzten zwei Perioden zwischen den 16. Oktober 1866 und 24. September 1875 und dann wieder vom 15. Oktober 1882 an bis zum 25. September 1891. Übrigens wurde auch hier nicht nur keiner der 9 Durchgänge der letzten Epoche (1866—1875), sondern auch keiner der unmittelbar vorhergehenden (1850—1859) wahrgenommen, indem der letzte, bei diesem Knoten von De Cuppis bemerkte Durchgang (2. Oktober 1839) bereits auf die Mitte der zweitvorhergehenden Periode (1834—1843) zurückreicht.

*) Hind wies später nach, daß auch eine Beobachtung des Domkapitulars Stark in Augsburg vom 9. Oktober 1819 mit Le Verrier's Formel dargestellt werde. Le Verrier hatte diese Beobachtung nicht berücksichtigt, und sie ist auch in der obigen Zusammenstellung ausgelassen, weil Stark nur angiebt, er habe am 9. Oktober 1819 einen scharf umrissenen kreisrunden Fleck beiläufig von der Größe Merkurs auf der Sonne bemerkt, den er abends nicht mehr fand.

So stand die Sache, als die Sonnenfinsternis vom 29. Juli 1878 heranrückte, deren Totalitätszone ganz Nordamerika durchzog. Bei derselben wurde das Aufsuchen der intramerkuriellen Planeten noch weit systematischer organisiert als je bei einer früheren Finsternis, und die Bemühungen schienen diesmal endlich wirklich vom besten Erfolge gekrönt worden zu sein. Denn nicht nur J. Watson meldete aus Separation die Entdeckung zweier Planeten, sondern auch L. Swift, der etwas östlicher in der Nähe von Denver beobachtet hatte, glaubte deren ebenfalls zwei wahrgenommen zu haben. Die beiden letztgenannten hielt man anfangs natürlich für identisch mit den Watson'schen Gestirnen; als aber die Relationen der Beobachter über ihre Wahrnehmungen detaillierter bekannt wurden, zeigte es sich, daß dies ohne Annahme mehrfacher Versehen nicht möglich sei. Mußte es nun schon sehr auffallen, daß jetzt auf einmal statt des gesuchten einen vier intramerkurielle Planeten aufgefunden worden waren, während bei den totalen Finsternissen der letzten zwei Decennien, in denen doch auch sehr intensiv darnach gesucht wurde, sich nie einer gezeigt hatte, so mußte das Befremden noch mehr steigen, als Gaillot, ein langjähriger Mitarbeiter Le Verrier's, nachwies, daß keiner der obigen vier Himmelskörper der gesuchte intramerkurielle Planet von Le Verrier sein könne. Dies veranlaßte Th. v. Oppolzer zu einer erneuerten Diskussion der 5 Beobachtungen von Le Verrier's Gruppen II und IV, denen er noch eine Beobachtung von Fritsch vom 29. März 1800, eine von Ohrt vom 12. September 1857 und die des Domkapitulars Stark vom 9. Oktober 1819 beizog. An diese so gewonnenen 8 Beobachtungen schloß er unter der Annahme einer verhältnismäßig starken Rückwärtsbewegung der Knoten der Bahn ein Elementensystem an, nach welchem in den Morgenstunden des 19. März 1879 ein nahezu centraler Vorübergang des supponierten Planeten vor der Sonnenscheibe erfolgen sollte. Es wurde daher nicht nur an dem vorausbestimmten Tage, sondern auch einige Tage vorher und nachher an allen Sternwarten, die Sonne aufs sorgfältigste überwacht, — jedoch abermals ohne Erfolg.

§ 33. (Kritik von C. H. F. Peters.) Fast gleichzeitig mit den ebenerwähnten Untersuchungen v. Oppolzer's unterzog sich C. H. F. Peters der dankenswerten, aber mühsamen und zeitraubenden Aufgabe, nicht nur die Wahrnehmungen von Watson und Swift bei der totalen Finsternis vom 29. Juli 1878, sondern auch eine Reihe anderer sogenannter Vorübergänge eines intramerkuriellen Planeten einer eingehenden Kritik zu unterziehen.

Bezüglich der beiden Objekte, die Watson für intramerkurielle Planeten gehalten, wies er nach, daß es nichts anders als die Sterne 5. und 6. Größe ξ und Θ Krebs waren; für die 2 Sterne von Swift sind die Positionsangaben so unbestimmt gehalten, daß ihre Identifizierung mit anderen bekannten Sternen nicht möglich ist; nur soviel steht fest, daß weder Watson noch ein anderer der

vielen amerikanischen Astronomen, die jene Gegend untersuchten, ein Sternenpaar wahrnahmen, das Swift's Beschreibung entspricht.

Bezüglich der vermeintlichen Vorübergänge eines intramerkuriellen Planeten zeigte Peters zunächst, daß bisher ein ganz heterogenes Material als Durchgang des Planeten „Vulkan" zusammengeworfen wurde; denn bald sollte der mysteriöse Himmelskörper so groß gewesen sein, daß er mit freiem Auge und den geringsten optischen Hilfsmitteln gesehen wurde, bald bloß den doppelten Durchmesser Merkurs, bald gar nur eine Größe von wenigen Bogensekunden gehabt haben, zuweilen auch elliptisch erschienen sein. Die 20 bis 30 vermuteten Erscheinungen desselben sind fast gleichmäßig über das ganze Jahr verteilt; wo liegt also der Knoten der Bahn? Manchmal bewegte sich der Körper so schnell, daß er den Sonnendurchmesser in weniger als einer Stunde zurückgelegt hätte, manchmal aber wieder so langsam, daß dazu 6 bis 10 Stunden erforderlich gewesen wären; ja in den meisten Fällen wurde eine Bewegung desselben garnicht bemerkt, sondern nur, daß er einen oder mehrere Tage vorher oder nachher nicht auf der Sonne gesehen wurde. Ferner wurden fast ausnahmslos Liebhaber der Astronomie, welche die Sonne nur gelegentlich betrachten, durch den Anblick von Vulkan begünstigt: er hat sich in den letzten 50 Jahren keinem der zahlreichen Astronomen gezeigt, welche systematisch die Sonne beobachten. Aber noch mehr. Man kann ohne Übertreibung behaupten, daß seit 1860 die Sonne täglich mindestens 4 Stunden unter den Augen eines oder mehrerer in der Regel mit weit besseren Hilfsmitteln, als ein Privater sie besitzt, ausgerüsteten Astronomen war, und trotzdem sollte ihnen allen jeder Durchgang, der im Durchschnitte doch mindestens 3 Stunden dauern müßte, entgangen sein? Wie wenig man sich aber häufig auf die Beschreibung der Wahrnehmungen von nicht gut geschulten Astronomen verlassen kann, wenn es sich um so schwierige Beobachtungen handelt, davon giebt C. H. F. Peters auch noch ein sehr lehrreiches Beispiel.

Für eine der bestverbürgten Beobachtungen eines hypothetischen intramerkuriellen Planeten, wegen ihrer bestimmten Sprache und wegen der Detailangaben, die sie enthält, gilt die oben ebenfalls mitgeteilte Beobachtung von Lummis am 20. März 1862. Auch Le Verrier bezeichnet sie als très-sûr, und betrachtet sie als einen der wesentlichsten Stützpunkte für seine weiteren Untersuchungen. Peters weist nun aus gleichzeitig von ihm selbst und Spörer angestellten Beobachtungen nach, daß die Sonne damals keineswegs so fleckenfrei war, wie Lummis angiebt, und daß dieser am Anfange seiner Beobachtungen um $8^h\ 28^m$ von den verschiedenen auf der Sonnenscheibe vorhandenen Flecken einen, und 22^m später einen anderen beobachtet habe. Die Angabe von Lummis, daß er „watched the small black spot, more regular and better defined than usual, about twenty minutes, during which time it had moved rapidly", ist daher nicht so zu verstehen, wie man der Stilisierung nach füglich annehmen sollte und in der That auch stets annahm, daß Lummis während der 20^m den

Fleck beständig unter Augen gehabt und seine rasche Bewegung gesehen habe. Sie soll vielmehr nur besagen, er habe, als er 20^m nach seiner ersten Wahrnehmung die Sonne abermals betrachtete und den früher bemerkten Fleck nicht mehr wahrnahm, dafür aber an einer anderen Stelle der Sonne einen ähnlichen (das erste Mal übersehenen) erblickte, daraus geschlossen, beide seien identisch, und der Fleck habe sich in der Zwischenzeit rasch bewegt. Ferner giebt Lummis den Durchmesser desselben zu 7″ an, während nach Peters' Messungen der zuletzt von Lummis beobachtete Fleck ein behofter war, dessen Kern 14″ und dessen Penumbra 28″ Durchmesser hatte. Da man nun wohl annehmen muß, daß Lummis mit seinem schwachen Rohre den Kern von der Penumbra nicht unterschieden, sondern bloß das Gebilde in seiner Gesamtheit aufgefaßt habe, sieht man daraus auch noch weiter, wie unsicher und unrichtig seine Größenschätzung und seine ganze Beschreibung überhaupt war.

Peters hat endlich auch noch einen andern Umstand näher erörtert, der allerdings schon früher mehrmals, allein in der Regel bloß nebenbei als Argument gegen das Vorhandensein intramerkurieller Planeten angeführt wurde, obwohl er das entscheidendste von allen bildet: es ist die voraussichtliche Helligkeit derselben. Nimmt man nämlich an, daß das Reflektionsvermögen (Albedo) der supponierten Planeten ähnlich sei dem von Merkur und den übrigen größeren Planeten, so müßte ein Körper von dem Durchmesser Merkurs in einer mittleren Entfernung 0·15 von der Sonne etwa viermal so hell leuchten als Venus in den Quadraturen und hätte demnach bei keiner totalen Sonnenfinsternis auch nur der alleroberflächlichsten Beobachtung entgehen können, müßte übrigens, wie bereits Liais bei Gelegenheit von Lescarbault's Beobachtung hervorhob, in seinen Elongationen in den Tropengegenden auch außer Sonnenfinsternissen schon längst gesehen worden sein. Gehen wir nun aber auf die Annahme über, daß nicht ein einzelner Planet, sondern eine ganze Planetengruppe sich zwischen Sonne und Merkur bewegt, und daß die Watson'schen Sterne wirklich ein paar Glieder dieser Gruppe gewesen seien, so stoßen wir sofort wieder auf ebenso unlösliche Widersprüche. Denn einerseits könnten schon Körper von 4. bis 5. Größe (wie die Watson'schen Gestirne) nur Durchmesser von 15 bis 50 km haben, also selbst mit den allerbesten Fernrohren der Neuzeit noch nicht auf der Sonnenscheibe wahrgenommen werden; andererseits aber wären Millionen solcher Körper erforderlich, um eine dem Merkur gleiche Masse zu repräsentieren, und eine solche fordert Le Verrier zur Erklärung der Diskordanz in der säkularen Bewegung des Merkurperihels durch intramerkurielle Planeten.

Aus dem eben gesagten dürfte wohl zur Genüge hervorgehen, daß intramerkurielle Planeten, welche bei ihren Durchgängen vor der Sonne bereits für Laien auffällige Objekte bilden, ganz gewiß nicht vorhanden sind, und daß daher keine der obigen Beobachtungen auf solche bezogen werden kann. Die weitaus größte Mehrzahl derselben beruht gewiß auf Täuschungen derselben oder ähnlicher

Art wie die Beobachtung von Lummis; doch könnte immerhin eine oder die andere darunter sein, welche auf eine andere Art, etwa den Durchgang eines Kometen zwischen Erde und Sonne, zu erklären wäre.

§ 34. (Schlußbemerkungen.) Wenn aber zur Erklärung der Diskordanz zwischen der beobachteten und theoretisch ermittelten Säkularbewegung der Apsidenlinie Merkurs ein intramerkurieller Planet, oder eine Gruppe solcher nicht herangezogen werden kann, so entsteht abermals die Frage, was ist denn dann die Ursache davon? Diese Frage hat die Astronomen schon vielfach beschäftigt, ohne daß es bisher gelungen wäre, eine befriedigende Lösung dafür zu finden.

Einen ähnlichen Unterschied zwischen der berechneten und beobachteten Säkular-Acceleration des Mondes (vergl. III, § 62) versuchten Delauny und nach ihm Hansen durch eine langsame Verzögerung der Rotation der Erde infolge der Ebbe und Flut zu erklären. Der letztere wies dabei noch darauf hin, daß diese Verzögerung auch eine Veränderung der säkulären Bewegung des Merkur-Perihels bedingen würde. Die diesbezüglichen Rechnungen zeigten aber, daß dadurch nur ein geringer Bruchteil der Diskordanz weggeschafft werden könnte.

Die Entdeckung eines fünften sehr lichtschwachen Jupitermondes brachte Prof. v. Härdtl im Jahre 1894 auf den Gedanken zu untersuchen, ob nicht vielleicht ein noch unbekannter Merkursmond die Ursache dieser Erscheinung sein könnte: es erwies sich aber, daß dazu ein Himmelskörper von so großer Masse, und infolgedessen Größe und Helligkeit erforderlich wäre, daß er uns bisher nicht hätte verborgen bleiben können.

Unter diesen Umständen bricht sich nach und nach die Ansicht immer mehr Bahn, daß dem Newton'schen Gravitationsgesetz keine absolute Genauigkeit zukomme. In dieser Beziehung wäre hervorzuheben, daß bereits Gauß und Weber sich bemüßigt sahen zur Erklärung der elektrodynamischen Erscheinungen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität in Rechnung zu ziehen, und ein diese Geschwindigkeit enthaltendes Glied hinzuzufügen. Den Einfluß eines solchen, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schwere berücksichtigenden Zusatzgliedes auf die Bewegung der Planeten haben für die von Weber aufgestellte Formel bereits vor mehr als 2 Decennien Scheibner und Tisserand, und für die von Gauß erst vor Kurzem (1894) der letztere erörtert. Das Resultat dieser Untersuchungen läßt sich dahin zusammenfassen, daß sowohl durch das Zusatzglied von Weber als auch durch das von Gauß außer der Perihellänge kein anderes Element eine merkbare, der Zeit proportionale Störung erfährt, und daß unter der Annahme des Gesetzes von Gauß die beobachtete und berechnete Änderung der Perihellänge in Übereinstimmung gebracht würden, wenn man die Geschwindigkeit der Fortpflanzung der Schwere etwa der Geschwindigkeit des Lichtes gleichsetzt. Für das Weber'sche Gesetz müßte sie erheblich kleiner angenommen werden.

Eine andere Modifikation des Gravitationsgesetzes, die dasselbe leistet, erhält man nach Hall, wenn man die Schwere nicht genau im Verhältnisse des Qua-

drates der Entfernung abnehmen läßt, sondern statt des Exponenten 2 den nur um einen minimalen Betrag davon abweichenden: 2·00000016 annimmt. Newcomb hingegen ist der Ansicht, daß dadurch allein nicht alle Schwierigkeiten behoben werden können. Er fand nämlich bei einer eben vollendeten strengen Neuberechnung der Elemente der 4 inneren Planeten, daß ähnliche Diskordanzen, wie in der Bewegung des Perihels der Merkursbahn, auch in der Bewegung des Knotens der Venusbahn, und in der des Perihels der Marsbahn vorkommen, und daß alle diese zusammen unter der Annahme von Hall sich nur dann erklären lassen, wenn man zugleich die Masse der Erde und deren Entfernung von der Sonne um kaum zulässige Beträge ändert. Hingegen würden, auch ohne Änderung unseres Gravitationsgesetzes alle Diskordanzen gehoben durch einen Meteorring zwischen Merkur und Venus von beiläufig folgenden Elementen:

Länge des Perihels	10°
Länge des aufsteigenden Knotens . . .	35
Neigung	7·5
Halbe große Achse	0·48
Excentricität.	0·04
Masse	1 : 37 000 000.

Newcomb selbst betrachtet übrigens dieses Resultat mehr als ein Kuriosum denn als eine thatsächliche Erklärung, indem er nicht verhehlt, daß das Vorhandensein eines solchen Ringes äußerst unwahrscheinlich ist.

In der jüngsten Zeit hat Seeliger noch auf einen Umstand hingewiesen, der das Vorhandensein von Ergänzungsgliedern zum Gesetze der Schwere fordert. Will man nämlich nicht auf wenig angemessene Vorstellungen greifen, so muß man wohl annehmen, daß die Schwere ebenso wenig wie eine andere Kraft, eine unvermittelt wirkende Fernkraft sei. Nimmt man aber ein die Anziehung vermittelndes Medium an, so wird man die Möglichkeit, ja Notwendigkeit einer aus dieser Quelle stammenden Korrektur zugeben müssen, mag man dabei, wie beim Lichte an eine Art Absorption oder eine andere Art der Wirkung denken, und kann dann unter verschiedenen plausibelen Annahmen ebenfalls die Bewegung des Perihels der Merkursbahn darstellen.

Kapitel III.

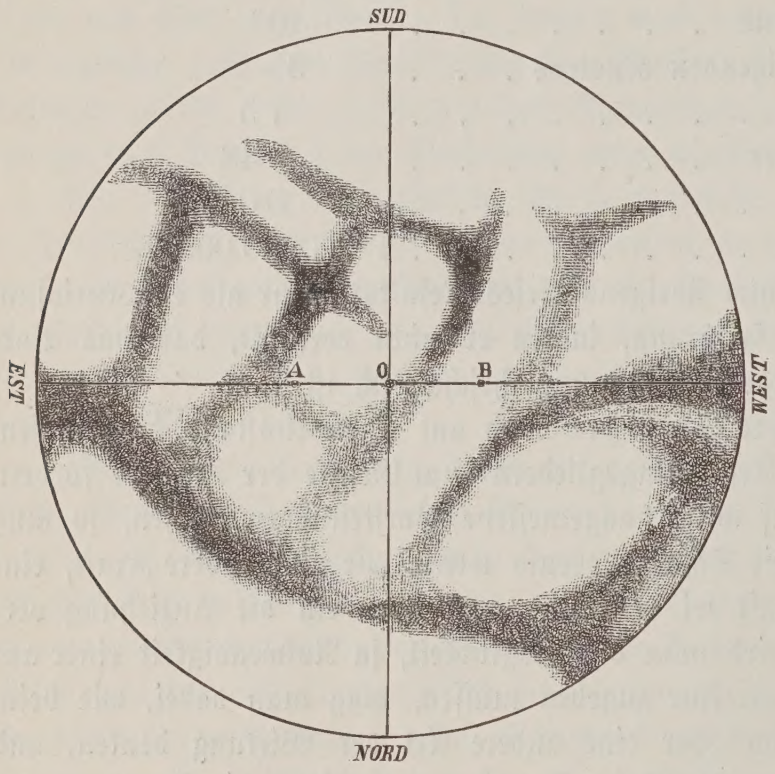
Merkur.

§ 35. (Entfernung, Umlaufszeit, Masse u. s.) Unter allen bekannten Planeten ist Merkur der nächste an der Sonne, woher er vielleicht seinen Namen hat, da der Gott Merkur mythologisch vielfach mit Apollo in Zusammenhang steht. Sein Zeichen ☿ stellt den Caduceus vor und ist in der Mineralogie das des Queck-

silbers. Unsere Fernrohre zeigen, selbst wenn sie sehr gut sind, von ihm wenig mehr, als daß er Phasen, d. h. eben solche Lichtabwechselungen wie unser Mond hat, und dies hauptsächlich aus dem Grunde, weil er sich immer zu nahe in dem starken Lichte der Sonne aufhält. Infolgedessen ist es auch erst vor einem Decennium J. V. Schiaparelli gelungen, unter Italiens reinem Himmel, und unterstützt von einem selten scharfen Auge und ebenso seltenem Beobachtungstalente, auf seiner Oberfläche einem schwachen Hauche gleich, Zeichnungen wahrzunehmen, wie sie Fig. 50 darstellt.

Die mittlere Entfernung dieses Planeten von der Sonne oder die halbe große Achse seiner Bahn beträgt 0·387 Halbmesser der Erdbahn oder 57 510 000 km. Da aber seine Bahn sehr elliptisch ist, so ist seine wahre Entfernung von der Sonne sehr veränderlich. Im Perihelium steht er nur 45 710 000, im Aphelium aber 69 300 000 km von ihr ab. Noch beträchtlicher unter einander verschieden sind seine Entfernungen von der Erde, da sich die kleinste derselben auf 76, die größte aber auf 220 Millionen km beläuft.

Fig. 50.



Sein Halbmesser beträgt nur 2400 km, also nur den dritten Teil des Erdhalbmessers, wie er denn überhaupt unter den 7 älteren Planeten bei weitem der kleinste ist. Seine Oberfläche ist nur 72 Millionen Quadratkilometer groß, oder etwa der siebente Teil von der Oberfläche der Erde, und sein körperlicher Inhalt oder sein Volumen, das 57 000 Millionen Kubikkilometer beträgt, ist nur der 20ste Teil des Volumens der Erde. Eine Abplattung hat man bisher an ihm nicht bemerkt.

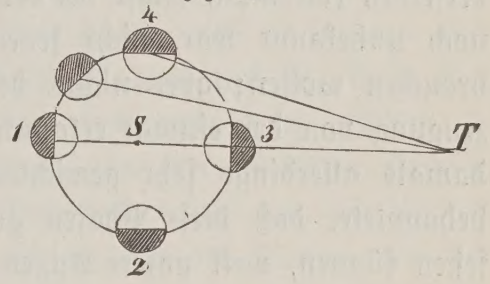
Da er der Sonne, dieser eigentlichen Quelle der Bewegungen aller Planeten, so nahe steht, ist seine Bewegung um diesen Centralkörper von allen die schnellste, indem er in seiner mittleren Geschwindigkeit in jeder Sekunde 47·5 km zurücklegt. Seinen ganzen Umlauf vollendet er, in Beziehung auf die Fixsterne, in 87·969, und in Beziehung auf die Nachtgleichen in 87·968 Tagen, und zwar in einer Bahn, die 7°, also stärker als alle anderen älteren Planetenbahnen gegen

die Ekliptik geneigt ist. Seine synodische Umlaufszeit endlich (I, § 86) beträgt 115·87 Tage.

Wir werden weiter unten die Mittel kennen lernen, die Massen der Planeten, d. h. die Menge der materiellen Elemente, aus denen sie bestehen, oder, wenn man lieber will, die gegenseitigen Gewichte derselben, so wie auch die Dichtigkeit dieses materiellen Stoffes zu bestimmen. Wir werden uns indes der Vollständigkeit wegen erlauben, bei jedem Planeten diese beiden Eigenschaften schon jetzt mit aufzuführen. Die Masse Merkurs also ist nur $^1/_{30}$ von der Masse der Erde, d. h. wenn man die Erde in eine Wagschale legen könnte, so müßte man in die andere 30 solche Kugeln wie Merkur legen, um die Wage im Gleichgewichte zu erhalten. Da wir aber unter Dichtigkeit eines Körpers seine Masse, dividiert durch sein Volumen, verstehen, und das Volumen dieses Planeten, wie bereits gesagt nur den 20sten Teil des Volumens der Erde beträgt, ist die Dichtigkeit gleich $^{20}/_{30}$ oder nahe 0·7 der Dichtigkeit der Erde. Die mittlere Dichtigkeit der Erde ist aber nahe 5·6mal größer als die des reinen Wassers, also ist die Dichtigkeit Merkurs nahe 4mal größer als die des Wassers.

Auf unserer Erde fallen die Körper, wenn sie ihrer Unterstützung beraubt werden, in der ersten Sekunde durch 4·9 m. Da wir nicht auf die Oberfläche Merkurs oder eines der andern Planeten kommen, also auch keine Beobachtungen daselbst anstellen können, so sollte man glauben, daß es den Menschen immer versagt sein wird, zu erfahren, wie sich die fallenden Körper auf jenen Planeten verhalten. Wir werden aber, wie schon gesagt, weiter unten Gelegenheit haben, zu zeigen, daß diese Bestimmungen in der That sehr leicht sind, wenn man einmal die Masse und den Halbmesser dieser Planeten kennt. Eine ganz einfache Rechnung lehrt uns, daß der freie Fall der Körper auf der Oberfläche Merkurs in der ersten Sekunde 1·2 m also kaum $^1/_4$ des Fallraumes auf der Erde beträgt; der kleinste Weg, den überhaupt die freifallenden Körper auf irgend einem der älteren Planeten unseres Sonnensystemes zurücklegen.

Fig. 51.



§ 36. (Phasen Merkurs.) Es ist bereits gesagt worden, daß dieser Planet infolge seiner Stellung gegen Sonne und Erde (I, § 69) uns ähnliche Lichtabwechselungen zeigt, wie der Mond. Der bloße Anblick der Figur 51 wird hinreichen, diese Phasen Merkurs mit allen ihren Eigenheiten zu erklären. In seiner oberen Konjunktion (1) ist er am weitesten von der Erde T entfernt, und erscheint uns also auch am kleinsten, und zwar nur unter einem scheinbaren Durchmesser von 5″. Da aber hier die von der Sonne S beleuchtete Hemisphäre ganz der Erde zugewendet ist, so hat er die Gestalt einer kreisrunden lichten Scheibe, wie der Mond zur Zeit seines Vollichtes. In seinem ersten Viertel (2)

zeigt er uns nur noch die eine Hälfte seiner auf der Westseite beleuchteten Hemisphäre, deren Durchmesser aber bereits auf 9″ gestiegen ist. Wenn er in seiner Bahn noch weiter fortrückt, und nach 3 in seine untere Konjunktion kommt, steht er der Erde am nächsten, und müßte ihr daher am größten, nämlich unter einem Winkel von 13″ erscheinen. Aber da er hier seine beleuchtete Seite ganz von der Erde weggewendet, so sehen wir ihn garnicht. Bisher war Merkur Abendstern, oder man sah ihn nur nach Sonnenuntergang im Westen an der östlichen Seite der Sonne; so wie er über 3 hinaustritt, wird er Morgenstern und erscheint vor Aufgang der Sonne im Osten auf der westlichen Seite der Sonne. Anfangs, da er der Sonne noch sehr nahe ist, sieht man ihn nur gleich einem feinen Silberfaden, wie den Mond in den ersten Tagen nach dem Neulichte, und seine östliche Seite wird immer mehr beleuchtet, bis er in 4 in seinem letzten Viertel uns die Hälfte seiner lichten Hemisphäre und endlich in 1 wieder die ganze beleuchtete Scheibe zuwendet (vergl. I, § 59). Alle diese Erscheinungen sind den Beobachtungen vollkommen gemäß, und es ist bereits oben (I, § 69) gesagt worden, daß man diese Phasen als einen der treffendsten Beweise des Kopernicanischen Planetensystemes ansehen kann. Zwar hat man eben die Abwesenheit derselben (da man, selbst bei der Venus, diese Phasen ohne Fernrohr, das damals noch unbekannt war, nicht sehen konnte) als einen Beweis gegen dies System brauchen wollen; aber nichts beweist mehr die Sicherheit und die innige Überzeugung von der einmal erkannten Wahrheit, als daß Kopernicus sich durch diesen, damals allerdings sehr gewichtvollen Einwurf nicht hindern ließ, sondern kühn behauptete, daß diese Phasen ganz gewiß existieren, und daß wir sie nur nicht sehen können, weil unsere Augen dazu zu schwach sind. Und in der That, kaum war das Fernrohr erfunden, als auch Galilei schon diese Lichtwechsel, wenigstens bei der Venus, wo sie viel leichter zu sehen sind, entdeckte.

§ 37. (Sichtbarkeit Merkurs.) Man erkennt diesen Planeten an seiner hellweißen Farbe und an seinem intensiven Lichte, das, durch lichtstarke Fernrohre gesehen, die Augen so blendet, daß man in solchen schwach gefärbte, sogenannte Dampfgläser vor das Okular stellen muß, um ihn bequem zu beobachten. In unseren Gegenden ist er so schwer zu sehen, daß ihn beispielsweise Kopernikus in seinem ganzen Leben nie zu Gesichte bekam, und dies noch auf seinem Sterbebette betrauert haben soll. Deshalb sagte auch Mästlin, der Lehrer des großen Kepler, oft scherzend, daß dieser Planet nur da zu sein scheine, um die Astronomen in ein schlechtes Licht zu stellen, und Riccioli hielt den himmlischen Merkur für ebenso unergründlich für die Astronomen, als damals der irdische (das Queckſilber) für die Alchymisten war. Seit indes das Fernrohr entdeckt und in unsern Tagen auf einen so hohen Grad der Vollkommenheit gebracht wurde, hat man weiter keine Schwierigkeit, ihn selbst um Mittag und in einer sehr geringen Entfernung von der Sonne zu sehen. In der nächsten Zeit wäre Merkur abends am leichtesten zu sehen, um den 6. Februar und 26. Mai 1895; um den 19. Januar und

8. Mai 1896; um den 1. Januar und 20. April 1897 u. s. w.; morgens um den 21. Juli und 8. November 1895; um den 3. Juli und 21. Oktober 1896; um den 15. Juni und 3. Oktober 1897 u. s. w. Diese hier angegebenen Tage entsprechen etwa der Mitte der Zeit der besten Sichtbarkeit, welche sich auf 6 bis 8 Tage zu beiden Seiten erstreckt. Die korrespondierenden Tage für die nächstfolgenden Jahre erhält man, wenn man immer 18 Tage vom Datum des vorhergehenden Jahres abzieht.

Die Schwierigkeit der Sichtbarkeit des Merkur in unseren Gegenden rührt daher, daß er sich immer in der Nähe der Sonne aufhält und daher nur, wenn er ihr westlich steht, morgens kurz vor Sonnenaufgang am östlichen Himmel, und wenn er ihr östlich steht, abends bald nach Sonnenuntergang am westlichen Himmel einige Zeit hindurch in dem Dämmerlichte der Sonne und nahe am Horizonte sichtbar wird. Wir haben nämlich bereits oben (I, § 59) als wir den scheinbaren Lauf dieses Planeten um die Sonne umständlich auseinandersetzten, gesagt, daß er sich von derselben im Mittel nur um 23° östlich oder westlich entfernt. Allein wenn er zu dieser Zeit zugleich in seinem Aphelium ist, kann diese Entfernung von der Sonne wegen der großen Excentricität seiner Bahn bis auf 29° steigen. In dieser seiner größten Elongation (I, § 69) sollte man glauben, müßte man ihn am leichtesten und besten sehen, weil er da von dem viel stärkern Lichte der Sonne am meisten entfernt ist und auch bei Auf- oder Untergang der Sonne noch am höchsten über dem Horizonte steht. Allein zu dieser Zeit ist er noch zu weit von der Erde entfernt, um hier in seinem größten Lichte zu glänzen. Die Verhältnisse sind im Gegenteil dafür am günstigsten, wenn er etwas näher bei seiner unteren Konjunktion mit der Sonne und 15° bis 18° von ihr absteht. In dieser Stellung sollte er nach Stampfer um 4 Stufen heller sein als mittlere Sterne erster Größe, würde also in dunkler Nacht und hoch am Himmel eine glänzende Erscheinung bieten.

In südlichen Ländern ist Merkur wegen der kürzeren Dauer der Dämmerung und der größeren Reinheit des Horizontes leichter zu sehen, wie ihn denn auch in der That die alten Griechen so oft und anhaltend beobachteten, daß sie aus ihren Beobachtungen sogar die Theorie seiner Bewegung ableiten konnten. Zwar sind die Tafeln desselben, wie sie uns Ptolemäus überliefert hat, die unvollkommensten von allen seinen Planetentafeln, und der Fehler derselben geht, wenn man sie mit unsern neuern Tafeln vergleicht, bis auf 7°; aber auch in diesem Zustande liefern sie noch einen sprechenden Beweis von dem Fleiße und der Ausdauer jener Astronomen, die noch keine Fernrohre zu ihrem Gebote hatten.

§ 38. (Rotation Merkurs.) Flecken, oder vielmehr Spuren solcher wurden mit Bestimmtheit erst vor Kurzem (§ 35) auf der Oberfläche dieses Planeten wahrgenommen. Trotzdem glaubte am Anfange unseres Jahrhundertes Schröter in einer anderen Erscheinung ein Mittel gefunden zu haben, die Rotationselemente desselben um seine Achse ermitteln zu können. Er glaubte nämlich, während

seiner mit großer Mühe und Sorgfalt lange Zeit hindurch fortgesetzten Beobachtungen wiederholt bemerkt zu haben, daß, wenn Merkur als schmale Sichel gesehen wird, die Spitze des einen Hornes sich nach einer regelmäßigen Periode ändere, welche er für die Rotationsdauer des Planeten hielt, und deren Länge er auf rund 24 Stunden veranschlagte. Darnach würde sich Merkur beiläufig in derselben Zeit wie die Erde um seine Achse drehen: ein Resultat, das wegen der ebenfalls nahe gleichen Rotationsdauer von Mars (§ 59) schon von vornherein viel Wahrscheinlichkeit für sich zu haben schien, und deshalb durch drei Vierteile eines Jahrhunderts allgemein als richtig angenommen wurde. Denn erst am Schlusse des Jahres 1889 überraschte Schiaparelli die astronomische Welt durch die hochwichtige Mitteilung, er habe nach 8jährigen unausgesetzten Beobachtungen Merkurs die Überzeugung gewonnen, daß die von Schröter angegebene Rotationsperiode irrig sei, daß sich Merkur viel langsamer, nämlich erst in 88 Tagen um seine Achse drehe, d. h. in derselben Zeit, in welcher er einen Umlauf um die Sonne vollendet: mit anderen Worten, daß ebenso wie der Mond der Erde, so Merkur der Sonne stets dieselbe Seite zukehre. Die Rotationsachse endlich stehe nahezu senkrecht auf der Bahnebene.

Die soeben ausgesprochene Behauptung, Merkur kehre stets dieselbe Seite der Sonne zu, ist nicht ganz richtig, sondern bedarf einer kleinen Modifikation. Man kann nämlich aus mechanischen Gründen wohl nur annehmen, daß, sowie die Erde, auch Merkur mit stets gleichbleibender Winkelgeschwindigkeit sich um seine Achse dreht, was nebenbei gesagt, Schiaparelli auch durch seine Beobachtungen bestätigt gefunden hat. Wäre nun die Bahn Merkurs ein Kreis, so wäre seine Winkelbewegung um die Sonne ebenfalls eine gleichförmige, und er müßte bei gleicher Dauer von Rotation und Revolution der Sonne in der That stets genau dieselbe Seite zukehren. Die Bahn Merkurs besitzt aber eine starke, überhaupt die weitaus stärkste Excentricität unter den Bahnen der großen Planeten: es eilt deshalb bei der Bewegung vom Perihel zum Aphel im ersten Teile dieses Bahnstückes die Winkelbewegung um die Sonne der Winkelbewegung um seine Achse voraus, während bei der Annäherung zum Aphel die letztere die erstere wieder einholt. Bei der Bewegung vom Aphel zum Perihel hingegen bleibt anfänglich die Winkelbewegung um die Sonne gegen die um die Achse zurück. Der Betrag dieses Voreilens und Rückbleibens ist, wie eine leichte Überlegung zeigt, stets der Gleichung der Bahn (I, § 82) gleich, welche bei Merkur wegen der starken Ellipticität seiner Bahn bis auf $23{\cdot}7^0$ ansteigt, und diese Größe für das Voreilen bei $75{\cdot}3^0$ und für das Zurückbleiben bei $284{\cdot}7^0$ mittlerer Anomalie (I, § 82) erreicht. Infolgedessen rücken, während Merkur vom Perihel zum Aphel läuft, am östlichen Rande nach und nach Gegenden in die Beleuchtungsgrenze der Sonne, die anfänglich bis $23{\cdot}7^0$ auf der Rückseite lagen; hingegen tritt dies bei seiner Bewegung vom Aphel zum Perihel nach und nach für ebenso ausgedehnte Gegenden am Westrande ein. Auf diese Erscheinung kommen wir

bei unserem Monde, wo sie ebenfalls, wenn auch in wesentlich geringerem Maße, bemerkbar ist und als Libration bezeichnet wird, nochmals zu sprechen: sie bewirkt offenbar, daß von der Oberfläche Merkurs während eines seiner Umläufe nicht bloß die Hälfte, d. i. 180 Längengrade, sondern allmählich $180^0 + 2 \times 23{\cdot}7^0 = 227{\cdot}4^0$ von der Sonne beschienen werden, und nur der Rest von $132{\cdot}6^0$ in ewige Nacht gehüllt bleibt.

Eine bemerkenswerte Folge der Gleichheit der Rotations- und Revolutionszeit Merkurs ist die, daß, abgesehen von Vorübergängen desselben vor der Sonne (§ 41), kein Wesen außerhalb dieses Planeten je den von der Sonne nicht beleuchteten Teil seiner Scheibe erblickt. Wohl treten beispielsweise auf der Erde während jedes seiner synodischen Umläufe (I, § 86) alle Teile seiner Oberfläche in unseren Gesichtskreis; da er aber nicht selbstleuchtend ist, bleiben uns nichtsdestoweniger die von der Sonne nicht erhellten Partieen als unbeleuchteter Teil seiner Phase (§ 36) stets unsichtbar.

§ 39. (Jahres- und Tageszeiten auf Merkur.) Nach dem eben gesagten kann man auf Merkur von Jahres- und Tageszeiten, in dem Sinne in dem wir diese Worte verstehen, eigentlich nicht sprechen. Nehmen wir nämlich an, daß die Rotationsachse Merkurs senkrecht auf seiner Bahnebene steht, was wie oben erwähnt nur sehr wenig von der Wahrheit abweichen kann; setzen wir ferner voraus, daß Fig. 50 die Stellung Merkurs gegen die Sonne bei seinem Periheldurchgange darstellt, so wird die Sonne zu jener Zeit gerade über den Gegenden O im Centrum der Scheibe im Zenithe stehen. In demselben Maße aber, in dem man sich von diesem Punkte, sei es in der Richtung des Äquators, sei es in der Richtung der Pole, entfernt, entfernt sich auch die Sonne vom Zenith, bis sie an allen von demselben um 90^0 abstehenden Orten eben nur noch im Horizonte erscheint. Während sich nun Merkur vom Perihel wegbewegt, wandert die Sonne längs des Äquators im Laufe von 18·3 unserer Tage von O nach einem $23{\cdot}7^0$ östlich davon gelegenen Punkte A, über dessen Zenith sie jetzt erscheint. Dadurch haben sich aber allmählich $23{\cdot}7^0$ an der Westseite des Planeten von der Sonne abgewendet: sie sind in die Nachtseite übergetreten, während im Osten ein gleicher Bogen in die Tagseite gelangt ist. Nun wendet sich die Sonne zurück, erreicht nach weiteren 25·6 Tagen wieder den Punkt O, schreitet aber dann noch in derselben Richtung fort, um nach neuerdings 25·6 Tagen in B, ihrer größten westlichen Digression von ebenfalls $23{\cdot}7^0$ anzulangen, weshalb jetzt umgekehrt gegen früher $23{\cdot}7^0$ von der westlichen Seite in den Tag gerückt, und $23{\cdot}7^0$ von der östlichen in Nacht versunken sind. Nun kehrt die Sonne abermals um, erreicht in 18·3 Tagen, also nach Verlauf einer vollen Revolution Merkurs, zum zweiten male den Punkt O, worauf sich dasselbe Spiel wiederholt. Es erblickt also ein Streifen von 66·3 Längengraden zu beiden Seiten von O, also im Ganzen ein Streifen von $123{\cdot}6^0$ die Sonne stets über dem Horizonte: an diesen Streifen schließt sich östlich und westlich ein weiterer Streifen von je 47·4 Längengraden

Ausdehnung an, in welchem die Sonne bei jeder Revolution Merkurs, je nach seinem kleineren oder größeren Abstande vom Centrum O, auf kürzere oder längere Zeit untergeht, und an den Grenzen desselben sich eben nur noch auf wenige Augenblicke über den Horizont erhebt. In den letztgenannten Gegenden und in den Polargegenden Merkurs steigt jedoch die Sonne, ebenso wie in unseren Polarregionen, nie hoch am Horizonte empor.

Aus dieser Darstellung ersieht man, daß es einem Drittel der Merkursoberfläche nie vergönnt ist, sich des Anblickes der Sonne zu erfreuen, daß aber auch auf dem anderen Teile seiner Oberfläche Verhältnisse von Beleuchtung und Erwärmung herrschen, die von denen auf unserer Erde völlig verschieden sind.

Für Merkur steht die ihm im Durchmesser etwa 3mal und in der Oberfläche etwa 9mal größer als uns erscheinende Sonnenscheibe fast unbeweglich am Himmel, indem sie während eines seiner Jahre von 88 Tagen nur eine pendelartige Schwingung von $23{\cdot}7^{0}$ nach Ost und West um ihren mittleren Ort vollführt. Sie sendet daher auf die in der Mitte der ihr zugewendeten Seite des Planeten gelegenen Gegenden ihre alles versengenden Strahlen beständig, ohne daß je wie bei uns durch das Dazwischentreten der Nacht eine Abkühlung erfolgen könnte, nahezu senkrecht herab. Je weiter man sich aber von diesen Regionen in irgend einer Richtung entfernt, desto tiefer sinkt der mächtige Feuerball am Himmel herab, bis er an den Polen sich eben nur noch über den Horizont erhebt, unter den er auch an den dem Äquator näheren Partien, welche an der Grenze der Lichtseite liegen, zeitweise untersinkt. Dabei darf man nicht vergessen, daß die Licht- und Wärmekontraste auf Merkur noch viel greller hervortreten als bei uns, indem wegen seiner größeren Nähe an der Sonne auch die Beleuchtung, welche er erhält, oder die Helligkeit seiner Tage nahezu 7mal größer ist als bei uns. Dasselbe gilt auch von der Quantität Wärme, die Merkur von der Sonne erhält: auch diese ist ebenfalls 7mal größer, als die Quantität, welche die Erde auf einer gleich großen Fläche empfängt. Damit wäre freilich die Temperatur, welche auf ihm herrscht, nicht notwendigerweise auch 7mal größer als die Temperatur auf unserer Erde. Denn die Temperatur an der Oberfläche eines Planeten hängt hauptsächlich von der Energie ab, mit welcher seine Atmosphäre die Zurückstrahlung der empfangenen Wärme hindert. Wir sehen dies sehr deutlich beim Besteigen hoher Berge. Auf denselben ist die Intensität und wärmende Kraft der auffallenden Sonnenstrahlen weit stärker als in der Ebene, weil dieselben dort die dichtesten, sie am meisten absorbierenden Schichten unserer Atmosphäre nicht zu durchdringen haben, ehe sie die Erdoberfläche erreichen. Und doch ist es auf hohen Bergen stets empfindlich kalt, weil die dünne Atmosphäre das sofortige Ausstrahlen der erhaltenen Wärme in den Weltraum nur noch sehr ungenügend hindern kann. Indes haben erst die Untersuchungen von Langley die Bedeutung der Atmosphären für ihre Planeten in das richtige Licht gestellt, indem aus denselben hervorgeht, daß ohne das

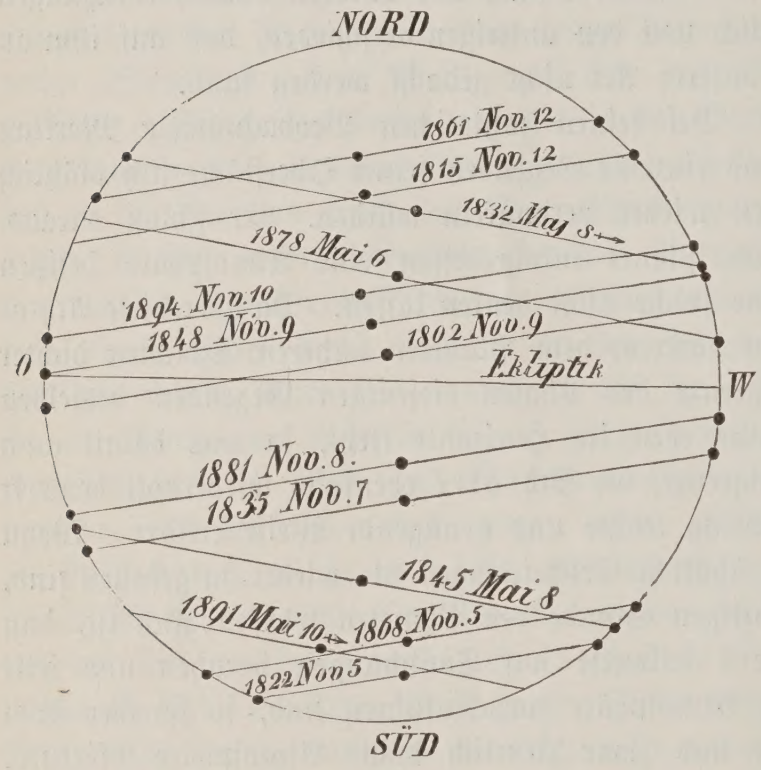
Vorhandensein unserer Atmosphäre die Temperatur auf der Oberfläche unserer Erde auf 40° bis 50° C. unter Null zurücksinken würde. Wir haben es daher den Eigenschaften unserer Atmosphäre allein zu verdanken, daß unsere Erde zum Wohnorte organisierter Wesen geeignet ist und nicht, wie die Polargegenden zur Winterszeit, in ihrer Gesamtheit unter einer alles erstarrenden Kälte begraben liegt.

Obwohl daher nicht zu bezweifeln ist, daß ebenso wie die erleuchtende auch die erwärmende Kraft der Sonne auf Merkur 7 mal größer ist als auf unserer Erde, so folgt daraus doch keineswegs, daß auf der Oberfläche dieses Planeten auch die Temperatur in demselben Verhältnisse verschieden sein müßte. Es wäre daher ganz wohl denkbar, daß auf Merkur den unseren ähnlich organisierte Wesen sich ihres Daseins freuen könnten, wenn dies die einzige Verschiedenheit zwischen Erde und Merkur wäre: es sind aber außerdem auch alle anderen Lebensbedingungen auf diesem Planeten so wesentlich von den unserigen verschieden, daß auf ihm an eine Existenz von Geschöpfen unserer Art nicht gedacht werden kann.

§ 40. (Atmosphäre Merkurs.) Bei seinen zahlreichen Beobachtungen Merkurs schien es Schröter öfter, als ob einzelne Gegenden seiner Oberfläche sich plötzlich aufhellen und nach einiger Zeit wieder verdunkeln würden. Er schloß daraus, daß dies Wolken seien und der Planet infolgedessen eine Atmosphäre besitzen müsse, da sich Wolken ohne eine solche nicht denken lassen. Da aber diese Atmosphäre ihrer Natur nach in den unteren, dem Planeten näheren Schichten dichter sein muß, und da die Lichtgrenze der Phasen diejenigen Gegenden desselben bezeichnet, für welche die Sonne eben im Horizonte steht, so war damit auch eine Unbestimmtheit jener Lichtgrenze, die Schröter ebenfalls wiederholt bemerkt zu haben glaubte, auf eine ebenso leichte und genügende Weise erklärt. Wenn nun auch späteren Beobachtern ähnliche Erscheinungen nie wieder aufgefallen sind, es daher bei dem stets ungünstigen Stande des Planeten sehr möglich ist, daß die Wahrnehmungen Schröters teilweise auf Täuschungen beruhen und teilweise auf Vorgänge in unserer Atmosphäre zurückzuführen sind, so sprechen doch andere Erscheinungen für eine und zwar ziemlich dichte Atmosphäre Merkurs. So erscheint die Merkurscheibe der Venusscheibe gegenüber auffallend blaß, während man wegen der großen Nähe des ersteren Planeten an der Sonne erwarten sollte, gerade ihn in einem intensiveren Lichte erglänzen zu sehen. Diese Blässe Merkurs trat nach Nasmyth und Winnecke besonders deutlich Ende September 1878 bei der nahen Konjunktion von Merkur und Venus hervor, wo beide Gestirne zugleich im Gesichtsfelde eines Fernrohrs sichtbar waren. Dementsprechend bestimmten auch Zöllner und Winnecke die Reflexionsfähigkeit (Albedo) von Merkur nur zu etwa $^1/_5$ und Scheiner sogar nur zu $^1/_6$ von der der Venus, was füglich wohl nur von einer verhältnismäßig dichten Atmosphäre des ersteren Planeten herrühren kann. Zu demselben Resultate führen auch die spektralanalytischen Untersuchungen von Vogel, die darauf hinweisen, daß Merkur von einer der unserigen ähnlichen Atmosphäre umgeben ist.

§ 41. (Vorübergänge Merkurs vor der Sonnenscheibe.) Wenn dieser Planet zur Zeit seiner untern Konjunktion (in 3 der Fig. 51) nahe bei der Ekliptik, also auch nahe bei seiner Knotenlinie steht, so sieht man ihn als einen kleinen, runden schwarzen Flecken vor der Sonnenscheibe vorübergehen. Man nennt dies einen Durchgang des Planeten. Der scheinbare Durchmesser desselben wird dann von der Erde unter dem Winkel von 13″ gesehen. Bei der gegenwärtigen Lage seiner Knoten können diese Durchgänge nur in den beiden Monaten Mai und November statthaben. Kepler kündigte zuerst aus den von ihm selbst entworfenen Tafeln dieses Planeten einen solchen Durchgang für das Jahr 1631 an, den auch Gassendi am 7. November jenes Jahres in Paris beobachtete. Seit dieser Epoche sind viele solche Durchgänge gesehen worden, da deren im Durchschnitte 13 in einem Jahrhunderte eintreten, von denen der letzte des unserigen am 10. November 1894 statt hatte. Fig. 52 stellt die Wege dar, die der Planet während der 13 Durchgänge im 19. Jahrhunderte auf der Sonnenscheibe beschrieb. Die beiden nächsten Durchgänge finden am 14. November 1907 und 7. November 1914 statt und sind in unseren Gegenden beide vollständig sichtbar. Die Elemente derselben sind nämlich, vom Centrum der Erde aus gesehen, und in Greenwicher Zeit ausgedrückt:

Fig. 52.



	Eintritt	Mitte	Austritt
1907 Nov. 14	$10^h\ 26^m$ Mgs.	$0^h\ 7^m$ Mttgs.	$1^h\ 48^m$ Nchmt.
1914 = 6	10 3 =	0 5 =	2 7 =

Die Merkursdurchgänge kehren nach 46 Jahren in derselben Reihenfolge wieder, weil 46 Erdenjahre 16 801·79 und 191 Merkursumläufe 16 802·13 Tage umfassen, beide Perioden also sehr nahe dieselbe Länge haben. Da sie aber nicht ganz gleich sind, verschiebt sich bei jedem folgenden Novemberdurchgange die Sehne, die Merkur auf der Sonnenscheibe beschreibt, um 1·7′ nach Norden, wie dies in der vorstehenden Figur namentlich die drei Durchgänge vom 9. November 1802, 9. November 1848 und 10. November 1894 zeigen. Eine weitere

Folge davon ist die, daß nach einer längeren Reihe von Perioden der Durchgang ausfällt, indem Merkur nördlich an der Sonne vorübergeht: zum Ersatze dafür beginnen aber Durchgänge an der Südseite der Sonne aufzutreten. Bei den Durchgängen im Mai gestalten sich die Verhältnisse ganz ähnlich: nur verschiebt sich die Sehne bei diesen jedesmal nach Süden.

Noch genauer als die eben besprochene ist eine Periode von 217 Jahren, die 901 Umläufen Merkurs so nahe gleicht, daß die Verschiebung der Sehne nur 0·2′ beträgt. Nach Verlauf einer solchen Periode kehren daher die Merkursdurchgänge nicht nur in derselben Reihenfolge, sondern auch unter so gleichen Verhältnissen wieder, daß, hat man dieselben für eine davon berechnet oder beobachtet, die so erhaltenen Zahlen bis auf Zeitminuten genau für eine künftige oder frühere als geltend angesehen werden können. So kann man beispielsweise die Zeiten des Ein- und Austrittes für den ersten, am 7. November 1631 beobachteten Merkursdurchgang den Berechnungen des Durchganges vom 9. November 1848, ohne irgend eine Änderung daran vorzunehmen, bis auf die oben angegebene Genauigkeitsgrenze entnehmen.

Was hier von Merkursdurchgängen gesagt wurde, gilt natürlich auch für den ganzen Lauf des Planeten überhaupt: der Lauf desselben zwischen den Sternen und damit seine günstigen und ungünstigen Sichtbarkeitsverhältnisse u. s. w. kehren durch Jahrhunderte in einer 46jährigen Periode regelmäßig wieder.

Perioden wie die eben angegebene, innerhalb deren Planetenkonstellationen sich wiederholen, hatten für die Astronomen des Altertums eine weittragende Bedeutung, weil damals das Vorhersagen derartiger Himmelserscheinungen noch nicht auf eigentlichen Vorausberechnungen, wie wir sie heute ausführen, beruhte, sondern nach solchen Perioden erfolgte. Es ist daher begreiflich, daß die alten Astronomen allen ihren Scharfsinn und einen unermüdlichen Fleiß aufwendeten, um derartige Perioden aufzufinden, und dadurch in der That eine Reihe solcher entdeckten. So war den Chaldäern die Wiederkehr derselben Konstellationen von Merkur innerhalb eines Cyclus von 46 Jahren bekannt; ebenso wußten sie bereits, daß sich der Lauf der Venus zwischen den Gestirnen schon nach 8 Jahren wiederholt, ja sie konnten sogar die Wiederkehr der Mondfinsternisse nach dem Saros, einer Periode von 18 Jahren und 10 Tagen (genauer 6585·4 Tagen) vorher verkünden u. s. w. Die Griechen verwendeten zu dem letzteren Zwecke eine 19jährige Periode, die sog. Metonische, die aber erheblich ungenauer ist, als der Saros. Erwägt man nun, welche Zeit es erfordert haben muß, um ohne Kenntnis der Gesetze der Bewegung der Planeten, bloß durch die Beobachtung derselben solche Perioden nicht nur zu erkennen, sondern auch mit Genauigkeit die Dauer derselben zu bestimmen, so drängt sich wohl unwillkürlich die Überzeugung auf, daß die Beobachtung der Gestirne und der Beginn der Kultur des Menschengeschlechtes überhaupt weit tiefer in die graue Vorzeit zurückreicht, als man gewöhnlich anzunehmen pflegt.

Kapitel IV.

Venus.

§ 42. (Namen und Zeichen dieses Planeten.) Obschon jeder Planet, wie wir bald sehen werden, in Beziehung auf die Erde sein Eigentümliches hat, so zeichnet sich doch keiner durch so viele besondere Eigenschaften aus wie Venus. Er ist der hellste und schönste unter allen Planeten; er kommt der Erde am nächsten; seine von der Erde gesehene Geschwindigkeit ist deshalb die größte; er war wahrscheinlich der erste, dessen schnelle Bewegung uns zeigte, daß es außer den fixen Gestirnen des Himmels noch andere, daß es Planeten gebe.

Man erkennt ihn sehr leicht an seinem blendend weißen und intensiven Lichte. In der That ist er, manche Kometen ausgenommen, nebst dem Monde der einzige Himmelskörper, den man nicht selten bei Tage ohne Fernrohr mit der Sonne zugleich sehen kann, und der bei Nacht unter günstigen Verhältnissen sogar einen erkennbaren Schatten wirft. Dieser Schatten hat übrigens nach A. Wilcocks die Eigentümlichkeit, die ihn von dem Schatten des Sonnen- und Mondlichtes unterscheidet, daß er nur aus Kernschatten besteht und keinen Halbschatten besitzt, wodurch er viel schärfer und bestimmter abgegrenzt erscheint. Wilcocks führt diese Eigentümlichkeit des Venusschattens darauf zurück, daß dieser Planet für unser Auge bloß ein Punkt am Himmel ist, während Sonne und Mond Scheiben bilden.

Durch die Helligkeit seines Lichtes fiel er bereits den Alten besonders auf. Er ist der einzige unter den Planeten, der in den ältesten auf uns gekommenen Gedichten erwähnt wird: Homer nennt ihn (Ilias, XXII. 318) den schönsten, *κάλλιστος*:

„Hell wie der Stern vorstrahlt in dämmernder Stunde des Melkens,
Hesperus, der der schönste erscheint von den Sternen des Himmels."

Die Benennung „Hesperus oder Vesperugo (Abendstern)" erhielt er, weil man ihn wahrscheinlich zuerst als einen Wandelstern zu der Zeit erkannte, wenn er in den Abendstunden am westlichen Himmel sichtbar wurde. Einen ähnlichen hellen Stern bemerkte man bald auch in den Morgenstunden an der Ostseite des Himmels, daher man diesen Phosphorus, lateinisch Lucifer oder Lichtbringer (Morgenstern) nannte. Es war nun keine kleine Aufmerksamkeit nötig, zu erkennen, daß beide Sterne nur einer und derselbe sind. Man sagt, daß Pythagoras die Identität dieser beiden Gestirne zuerst erkannt habe. Übrigens haben wir schon bemerkt, daß Merkur dieselben Ansprüche auf eine solche Doppelbenennung hat, da beide Planeten als Abendsterne erscheinen, wenn sie in 2 (Fig. 51) auf der Ostseite der Sonne, und als Morgensterne, wenn sie in 4 auf der Westseite der Sonne stehen. Doch zog Venus durch ihren helleren Glanz die Aufmerksamkeit der Menschen besonders auf sich, und die Dichter der Griechen und Römer sind voll von dem Lobe ihrer Schönheit.

Qualis ubi oceani perfusus lucifer unda,
Quem Venus ante alios astrorum diligit ignes,
Extulit os sacrum coelo tenebrasque resolvit. — *Aen.*, VIII. 589.

Die neueren Dichter, die sonst mit dem gestirnten Himmel weniger bekannt zu sein scheinen, da sie beinahe nur von Wein und Liebe singen, fanden doch diesen Planeten zu auffallend, um ihn ganz aus ihrem Gebiete auszuschließen:

Friend to mankind, she glitters from afar,
Now the bright ev'ning, now the morning star. — *Baker.*

Venus erhielt das Zeichen ♀, eines Spiegels mit einer Handhabe, des notwendigsten Attributes einer Göttin der Schönheit. In der Mineralogie wird dadurch das Kupfer bezeichnet, und wahrscheinlich wurden auch die ersten Spiegel der Alten aus diesem Metalle verfertigt. Beiläufig bemerkt, giebt das Venuszeichen umgekehrt das der Erde ♁, worin offenbar eine Beziehung auf die Erlösungsgeschichte zu suchen ist.

§ 43. (Entfernung und Umlaufszeit der Venus.) Venus ist im Mittel 0·723 Halbmesser der Erdbahn oder bei 108 Millionen km von der Sonne entfernt. Die Excentricität ihrer Bahn ist die kleinste, oder diese Bahn ist die kreisähnlichste von allen, daher Venus auch beinahe immer in derselben Entfernung von der Sonne bleibt. Desto mehr weichen dafür ihre Entfernungen von der Erde unter einander ab. In der unteren Konjunktion 3 (Fig. 51), wo sie der Erde am nächsten ist, beträgt diese Distanz nur 38 Millionen km; in der obern Konjunktion (1) aber, oder in ihrer größten Distanz, ist sie 7 mal weiter oder 260 Millionen km von der Erde entfernt. Aus dieser Ursache ist auch ihre scheinbare Größe sehr verschieden. In der untern Konjunktion erscheint uns ihr Durchmesser unter dem Winkel von 65″, also größer als irgend ein anderer Planet, selbst Jupiter und den Ring Saturns nicht ausgenommen. In der obern Konjunktion aber, wo sie ihre beleuchtete Hälfte ganz der Erde zuwendet, beträgt ihr Durchmesser kaum 10″, so daß sie uns hier selbst kleiner als Merkur in seiner größten Nähe, nur halb so groß als Saturn und 5 mal kleiner als Jupiter erscheint.

Der wahre Durchmesser dieses Planeten beträgt 12 000 km, also nur unbedeutend weniger als jener der Erde. Die Oberfläche der Venus hat 450 Millionen Quadratkilometer, ist daher nahe gleich 0·9 der Oberfläche der Erde. Das Volumen derselben endlich beträgt 898 000 Millionen Kubikkilometer oder 0·8 des Volumens der Erde. Abplattung hat man bisher noch keine wahrgenommen.

Die siderische Umlaufszeit der Venus um die Sonne beträgt 224·701 Tage, die tropische 224·695 und die synodische (I, §§ 84, 85 und 86) 583·92 Tage. Mit dieser Bewegung legt sie durchschnittlich in jeder Sekunde einen Weg von 33·2 km zurück. Ihre Masse beträgt 0·8 der Erdmasse, und die Dichte dieser Masse ist nur unbedeutend kleiner als die der Erde. Der Fall der Körper auf

ihrer Oberfläche endlich beträgt in der ersten Sekunde 4·4 m, ist also ebenfalls nur unerheblich geringer als bei uns.

Man sieht aus allem Vorhergehenden, daß die Venus ein unserer Erde nahe verwandter Planet ist, indem die bisher aufgezählten Eigenschaften derselben von denen unserer Erde nur wenig verschieden sind. Doch fehlt es auch nicht an Unähnlichkeiten, die wir bald näher kennen lernen werden.

§ 44. (Phasen und Sichtbarkeit der Venus.) Es ist für sich klar, daß Venus uns eben solche Lichtabwechselungen zeigen muß wie Merkur, und zwar noch viel auffallender, weil sie nicht nur größer, sondern uns auch oft viel näher ist. Die Fig. 51 kann unverändert auf die Phasen beider Planeten angewendet werden, und was oben (§ 36) in dieser Beziehung von Merkur gesagt worden, gilt ebenfalls für Venus. Die Phasen des letzten Planeten bemerkt man schon mit einem sehr mittelmäßigen Fernrohre, daher sie auch Galilei gleich nach der Entdeckung dieses Instrumentes erkannte und dadurch einen neuen, jedermann einleuchtenden Beweis für die Wahrheit des Kopernikanischen Weltsystemes gab.

Venus kann sich bis auf etwa 48° von der Sonne östlich oder westlich entfernen, leuchtet aber zur Zeit ihrer größten Digression ebensowenig wie Merkur (§ 37) im stärksten Lichte. Ihr Lichtwechsel rührt nämlich wie der des Merkur von 2 Ursachen her: von der Änderung ihres Abstandes von der Erde und von der Variation ihrer Phase. Die erste davon bedingt zwischen der oberen und unteren Konjunktion des Planeten wegen seiner successiven Annäherung an die Erde eine beständige Zunahme, die zweite aber, wegen der successiven Verkleinerung der Phase, eine beständige Abnahme seiner Helligkeit: beide Ursachen wirken also einander entgegen, und es wird deshalb die größte Helligkeit dort eintreten, wo deren Abnahme wegen der Verkleinerung der Phase deren Zunahme wegen Annäherung an die Erde zu überwiegen anfängt. Daraus ergiebt sich von selbst das interessante Problem, den Ort des stärksten Lichtes der Venus zu bestimmen, mit dem sich zuerst Halley 1716 beschäftigte. Die theoretische Lösung desselben bietet deshalb Schwierigkeiten dar, weil das Gesetz der Abhängigkeit der Lichtstärke von der Phase nicht näher bekannt ist: für eine praktische Auflösung dieser Aufgabe fehlte es aber bis zu den vor Kurzem (1893) beendeten Untersuchungen von Dr. G. Müller an ausreichendem Beobachtungsmateriale. Nach den letztgenannten Untersuchungen erscheint der Planet in seinem schönsten Lichte, wenn er 39° östlich oder westlich von der Sonne entfernt ist; eine Stellung, die er im Durchschnitte 36 Tage vor und nach der unteren Konjunktion erreicht. Sein scheinbarer Durchmesser beträgt dann etwa 40″ und die größte Breite seiner beleuchteten Phase kaum 10″: aber diese schmale Lichtsichel hat wegen ihrer Nähe bei uns ein so intensives Licht, daß sie 69mal stärker als Wega und 18mal stärker als Sirius, der hellste Fixstern des Himmels leuchtet. Übrigens sind die Veränderungen ihres Glanzes durch 14 Tage vor und nach ihrer Maximalhelligkeit kaum merkbar. Zur Zeit der letzteren und infolge des

eben gesagten etwa 2 Wochen vorher bis 2 Wochen nachher ist aber Venus, wenn man den Ort am Himmel kennt, den sie eben einnimmt, auch des Mittags für ein scharfes Auge stets sichtbar: trifft aber ihre Maximalhelligkeit mit einer relativ günstigen Stellung gegen die Sonne zusammen, was alle 8 Jahre wiederkehrt (vgl. § 41), so fällt das Gestirn zuweilen auch am Tage selbst dem gemeinen Manne auf. Dies war beispielsweise am 21. Juni 1716 der Fall, wo das Volk in London diese Erscheinung als ein Wunder und als ein drohendes Vorzeichen nahen Unglücks betrachtete, und im Jahre 1750 wurde der nicht minder unwissende Pöbel von Paris durch dasselbe Phänomen so aufgeregt, daß die Hilfe der Polizei angerufen werden mußte, um dem Tumulte Einhalt zu thun.

Die dunkle Seite der Venus ist besonders zu der Zeit, da der beleuchtete Teil nur wie ein feiner Lichtfaden erscheint, zuweilen in einem matten Dämmerlichte sichtbar. Der erste, der dies bemerkte, scheint 1643 Riccioli gewesen zu sein: hierauf sahen es am Anfange des vorigen Jahrhundertes Derham und Chr. Kirch, während es in unserem Jahrhunderte wiederholt, und von Lyman sogar in unmittelbarer Nähe der Sonne wahrgenommen wurde. Die Ursache dieser Erscheinung ist noch rätselhaft: sie dürfte indes auf eine Art Phosphorescenz oder auf nordlichtähnliche elektrische Entladungen zurückzuführen sein.

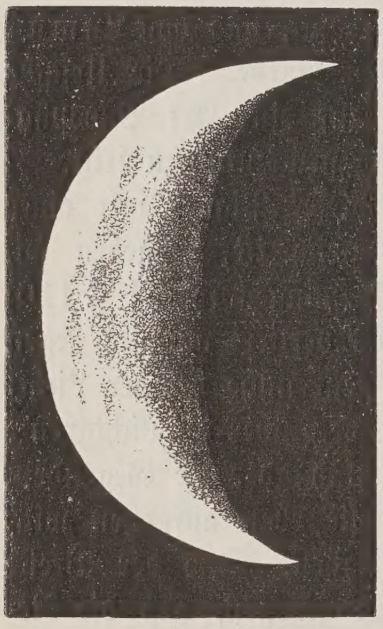
§ 45. (Atmosphäre, Flecken und Berge der Venus.) Daß dieser Planet mit einer Atmosphäre, die der unseren an Dichtigkeit wenigstens gleich ist, umgeben sei, hat bereits Schröter aus beobachteten Dämmerungserscheinungen (vgl. I, § 110) nachgewiesen. Das sonst blendend weiße Licht der Venus verliert nämlich gegen die Nachtseite hin immer mehr von seiner Helle und geht nahe bei der Lichtgrenze selbst in eine mattgraue Farbe über, die sich oft weit über die Lichtgrenze hinaus in die Nachtseite der Venus hineinzieht. Dies sind aber die Gegenden, denen eben die Sonne untergegangen ist oder für die sie eben aufgehen will, und die daher ihre Abend- und Morgendämmerung haben. Aus der Breite dieses dämmernden Streifens hat Schröter den Schluß gezogen, daß die Refraktion (I, § 106) im Horizonte der Venus nahe so groß sei, wie die Refraktion, die wir auf unserer Erde beobachten. Auch die Phasen der Venus zeigen auffallende Verlängerungen der Hörner, die nur durch eine dichte Atmosphäre zu erklären sind.

Ein anderer Beweis für das Vorhandensein einer Atmosphäre der Venus besteht darin, daß die Fixsterne, vor welchen dieser Planet vorbeigeht, nicht, wie beim Monde, plötzlich an seinem Rande verschwinden, sondern vielmehr immer schwächer werden, je näher sie seinem Rande kommen, oder je tiefer sie in die unteren und daher dichteren Schichten seiner Atmosphäre eintreten. Übrigens wurde die Atmosphäre der Venus bei dem Durchgange derselben im Jahre 1874 (§ 56) von mehreren Beobachtern, unter anderen von Watson, bei dem von 1882 aber sehr allgemein bemerkt.

Eine wertvolle Ergänzung unserer Kenntnisse bezüglich der Venusatmosphäre

verdanken wir Landerer, der im Jahre 1892 nachwies, daß das während seiner größten Elongation von Planeten herkommende Licht nicht polarisiert sei, indem daraus gefolgert werden kann, daß seine Oberfläche fast ganz von einer dichten Wolkenschicht bedeckt werde. Es wird dadurch auch die große Schwierigkeit begreiflich, mit welcher man Flecken oder anderes Detail auf der Venusscheibe sieht. Wohl sind seit Cassini und Bianchini wiederholt Flecken bemerkt worden, aber meist von so unbestimmter Begrenzung und so verschwommenem Aussehen, daß sie mit später wahrgenommenen nicht identifiziert werden konnten. Zur Veranschaulichung solcher Flecken und der Dämmerungserscheinungen an der Lichtgrenze mag der beistehende Holzschnitt (Fig. 53) dienen, der nach einer Zeichnung Denning's vom 26. März 1881 entworfen ist. Erst in neuerer Zeit haben Trouvelot, Terby, Landerer, Flammarion u. a. an Venus auch lichte Polarkappen, ähnlich denen bei Mars (§ 59), aber viel schwerer sichtbar wahrgenommen, die beständigere Bildungen zu sein scheinen. Trouvelot und Flammarion haben solche Kappen sogar wiederholt, gleichzeitig an beiden Polen bemerkt und ziehen aus deren Lage den Schluß, daß die Rotationsachse des Planeten nahezu senkrecht auf seiner Bahnebene steht. Ebenso hält Denning dafür, daß ringgebirgsähnliche Formationen auf Venus vorkommen (vgl. Fig. 53), wie deren auch bereits 1841 de Vico wiederholt wahrgenommen haben will.

Fig. 53.



Nach Schröter nimmt die Lichtgrenze der Venusphase nicht nur in Bezug auf ihr Licht allmählich an Helligkeit ab, sondern sie geht auch wie bei unserem Monde nicht regelmäßig in ihrer Krümmung fort: sie ist vielmehr häufig gebrochen und gleichsam ausgezackt, was besonders auffallend an den Hörnern hervortritt. Aus diesen Wahrnehmungen, mit denen ähnliche, später von Beer und Mädler bemerkte übereinstimmen, schloß Schröter, daß Venus überhaupt sehr gebirgig sei, und daß viele ihrer Berge bis zu Höhen von 40 und 50 km ansteigen — ein Resultat, das jedoch noch keineswegs als feststehend angesehen werden kann, da von den beiden ausgezeichneten Beobachtern: Schiaparelli und Trouvelot, die in den letzten Jahren sich am eingehendsten mit diesem Planeten befaßt haben, der erste dasselbe bekämpft, der zweite hingegen dafür eintritt.

Das Spektrum der Venus ist von Secchi und Vogel genauer untersucht worden und zeigte sich vom Sonnenspektrum nicht wesentlich verschieden. Doch treten nach Vogel einige feine Streifen darin auf, die den Linien unserer Atmosphäre gleichen und wahrscheinlich dem Wasserdampfe zuzuschreiben sind.

Übrigens ist es Huggins auch gelungen, das Spektrum der Venus zu photographieren, und zwar bis zu der im Ultraviolett liegenden Linie S (II, § 9).

§ 46. (Rotation der Venus.) Dominic Cassini, der Stammvater jener astronomischen Familie, die bis in ihr viertes Glied der Sternwarte in Paris vorstand, versuchte, nachdem ihm die Bestimmung der Rotationsdauer von Mars und Jupiter leicht und gut gelungen war, in den Jahren 1666 und 1667 auch die der Venus zu ermitteln, fand aber dabei wegen der großen Unbestimmtheit aller Fleckenwahrnehmungen auf derselben so große Schwierigkeiten, daß er sich mit der Angabe begnügen mußte, es erscheine nach ungefähr 23 Tagen der gleiche Fleck zu derselben Stunde wieder an der nämlichen Stelle der Scheibe. Bestimmter darüber drückte sich etwa 60 Jahre später Bianchini aus, der ebenfalls mit für seine Zeit sehr ausgezeichneten Fernrohren versehen war, indem er aus seinen zahlreichen Beobachtungen den Schluß zog, die Rotationsdauer des Planeten betrage 24 Tage. Noch ausführlichere Untersuchungen unternahm aber der Oberamtmann Schröter am Ende des vorigen Jahrhunderts und folgerte aus nahezu 20 Jahre hindurch unermüdlich fortgesetzten Beobachtungen der periodischen Veränderungen der Hörner eine Rotationsdauer von $23^h\ 21^m$. In den folgenden Jahrzehnten nahmen die Astronomen zum Teil für die Schröter'sche, zum Teil für die Biachini'sche Rotationszeit Partei, ohne aber für die eine oder die andere entscheidende Beweise beibringen zu können. Dies veranlaßte Olbers und Schumacher, an die Astronomen des Collegio Romano die Bitte zu richten, unter dem klaren italienischen Himmel mit ihren trefflichen Fraunhofer'schen Fernrohren das Problem von neuem aufzunehmen. Dieser Aufforderung nachkommend, stellte de Vico im Vereine mit mehreren anderen Astronomen der Anstalt in den Jahren 1839 bis 1842 mehr als 10 000 Beobachtungen zur Bestimmung der Rotationszeit der Venus an, für die er als definitives Resultat $23^h\ 21^m\ 21{\cdot}93^s$ veröffentlichte. Dasselbe wurde für so sicher und genau gehalten, daß durch ein halbes Jahrhundert niemand daran dachte, es zu verifizieren und gar zu verbessern, bis Schiaparelli im Jahre 1890 bei einer kritischen Revision sämtlicher bisherigen Versuche, die Rotationsdauer der Venus zu ermitteln, nachwies, daß es jedes, auch nur einigermaßen sicheren Fundamentes entbehre.

De Vico konnte nämlich die Beobachtungen des Jahres 1839 mit den späteren unter keiner plausibelen Annahme vereinigen: er nahm daher, von Schröter's Rotationsperiode ausgehend, an, daß Venus zwischen den beiden Beobachtungen Bianchini's vom 9. Februar 1726 und vom 7. Juli 1727 $527\frac{1}{4}$ Umdrehungen um ihre Achse ausgeführt habe. Daraus folgt für eine Revolution die oben angeführte Dauer: $23^h\ 21^m\ 21{\cdot}93^s$, welche nach de Vico zufolge eines besonderen Glücksfalles nicht bloß die Beobachtungen der früheren Zeit, sondern auch die am Collegio Romano in den Jahren 1839 bis 1842 angestellten in befriedigender Weise darstelle, und daher als ein sehr genauer

Wert dieser Größe anzusehen sei! Diese Rotationsperiode ist daher gar nicht aus den römischen Beobachtungen abgeleitet, sondern eigentlich nur die Schröter'sche, welche zwei um etwa $1^1/_2$ Jahre auseinanderliegenden Beobachtungen Bianchini's unter der Annahme angepaßt ist, daß Venus in der Zwischenzeit $527^1/_4$ Revolutionen vollführt habe, also eine reine Illusion.

Nachdem Schiaparelli auf diese Art nachgewiesen, daß die bisherigen Bemühungen, die Rotationselemente der Venus zu ermitteln, noch zu keinem entsprechenden Resultate geführt haben, bespricht er eine größere Zahl von Beobachtungen, die er selbst zu diesem Zwecke ausgeführt, und schließt aus ihnen und der Vergleichung derselben mit den Wahrnehmungen anderer Astronomen, daß die Rotation des Planeten sehr langsam vor sich gehe, und so wie bei Merkur auch bei Venus, die Rotation um ihre Achse wahrscheinlich in derselben Zeit, nämlich 224·7 Tagen, vollführt werde, wie ihre Revolution um die Sonne.

Das Resultat, das Schiaparelli bezüglich der Gleichheit von Revolution und Rotation bei Merkur (§ 38) aus seinen Beobachtungen gezogen hatte, war ohne Widerspruch angenommen worden: bei dem gleichen in betreff der Venus ist dies jedoch keineswegs der Fall. Wohl stimmen ihm einige Astronomen, namentlich Perrotin und Terby, bei, die Mehrzahl derselben aber, unter anderen Trouvelot, Nieſten und Löschardt, halten eine derartige Rotationsdauer für unvereinbar mit ihren Beobachtungen und treten für eine kurze, der Schröter'schen nahe gleiche, etwa 24stündige ein, für welche sich auch Wislicenus in einer sehr gediegenen, eingehenden kritischen Beleuchtung aller neueren, auf diese Frage bezüglichen Arbeiten ausspricht.

§ 47. (Tages- und Jahreszeiten auf der Venus.) Bei der Ungewißheit, in welcher wir noch über die Rotationselemente der Venus schweben, können wir auch über die Tages- und Jahreszeiten auf diesem Planeten nichts sicheres angeben. In betreff dieser gilt nämlich alles das, was darüber bei Merkur (§ 39) gesagt wurde, falls sich die von Schiaparelli angenommene Gleichheit der Rotations- und Revolutionsdauer bestätigt, mit dem einzigen Unterschiede, daß hier wegen der sehr geringen Excentricität der Venusbahn die Libration so gut wie vollständig wegfällt. Es bleibt daher die Sonne, die dort doppelt so groß erscheint als bei uns, für die Bewohner der ihr zugewendeten Halbkugel des Planeten stets unbeweglich an derselben Stelle des Himmels, während die Bewohner der ganzen anderen Hälfte in ewige Nacht gehüllt sind. Bewahrheitet sich indes die Ansicht, daß Venus in etwa 24 Stunden rotiert, so sind ihre Tage von denen der Erde nur unbedeutend verschieden: von Jahreszeiten jedoch kann man kaum sprechen, da die Ebene, in welcher ihre Rotation vor sich geht, jedenfalls sehr nahe mit ihrer Bahnebene zusammenfällt. Doch wollen wir auf ein weiteres Ausmalen der dadurch bedingten Verhältnisse nicht näher eingehen, sondern uns begnügen, auf das hinzuweisen, was bereits an einem anderen Orte (I, § 32) darüber gesagt wurde.

§ 48. (Venusmond.) Man hat in früheren Zeiten viel von einem Monde gesprochen, der die Venus auf ihrem Wege um die Sonne begleiten soll. Fontana will ihn im Jahre 1645, Dom. Cassini 1672 und wieder 1686, und Short in England i. J. 1740 gesehen haben. Auch Montaigne, Horrebow und andere sprechen von ihren Beobachtungen dieses Trabanten. Man war daher in der letzten Hälfte des vorigen Jahrhundertes von der Existenz desselben so überzeugt, daß man bereits Namen*) für ihn vorschlug, und Lambert auch dessen Elemente zu bestimmen unternahm. Aus diesen Elementen (I, § 82) ergab sich, daß der Satellit wegen seiner großen Breite bei den Durchgängen von 1761 und 1769 auf der Sonnenscheibe nicht sichtbar sein konnte, daß er aber bei der damals nahe bevorstehenden Konjunktion am 1. Juni 1777 sich auf die Sonne projizieren würde. Allein die Astronomen haben ihn weder damals noch auch seither je wieder gesehen: selbst nicht bei den Durchgängen der Venus von 1874 und 1882, wo er ihnen doch nicht hätte entgehen können. Es unterliegt daher gar keinem Zweifel, daß ein Mond der Venus von auch nur einigermaßen großen Dimensionen nicht existiert. Ein Teil der angeführten Wahrnehmungen beruht lediglich auf einer optischen Täuschung, die dadurch entsteht, daß die polierten Gläser der Fernrohre von einem so intensiven Lichte, wie es das der Venus ist, zuweilen eine sehr deutliche Spiegelung verursachen können, die dann

*) König Friedrich II. wollte diesen Mond der Venus zu Ehren seines gelehrten Freundes d'Alembert genannt wissen. Allein dieser zog sich vor solcher Gunstbezeigung mit den Worten zurück: „Je ne suis ni assez grand pour devenir au ciel le satellite de Vénus, ni assez jeune, pour l'être sur la terre, et je me trouve trop bien du peu de place, que je tiens de ce bas monde, pour en ambitionner une au firmament.“ — Diese Sucht, den Gestirnen die Namen merkwürdiger Personen zu geben, war zu allen Zeiten sehr groß. So nannte Galilei die von ihm entdeckten Satelliten Jupiters die Mediceischen Gestirne, zu Ehren der damals in Florenz regierenden Familie der Medici, und der Augustiner-Mönch Schiller taufte sogar den ganzen gestirnten Himmel um und veränderte die seit Jahrtausenden eingeführten Namen der Sternbilder in die Heiligennamen des Kalenders, wie man in seinem Coelum Christianum vom Jahre 1627 sehen kann. Am weitesten aber ging man darin bei dem Monde. Der berühmte Bürgermeister Hevel in Danzig, der uns im Jahre 1647 die ersten guten Mondkarten gab, legte den vielen Flecken desselben die Namen unserer Gebirge, Länder und Meere bei. Ein späterer Astronom in Spanien fand diese Benennungen sehr unpassend und substituierte ihnen die Namen der Heiligen. So wurde statt der Apenninen der heil. Michael mit seinem flammenden Schwerte, statt des ägäischen Meeres mit seinen vielen Inseln die heil. Ursula mit ihren 10 000 Jungfrauen, statt des Ätna der blinde Tobias u. dgl. gesetzt. Allein bald darauf fand Riccioli wieder jene Heiligennamen unpassend und führte dafür die Namen berühmter Astronomen und anderer Gelehrten ein, unter welchen er sich, ohne Zweifel aus Bescheidenheit, die oberste Stelle vorbehielt. Auf diese Weise mußte der h. Athanasius dem alten Plato, die h. Margarethe dem Ptolemäus, der h. Anton der Einsiedler dem jüngeren Plinius, und die h. Genofeva dem Galilei ihren Platz abtreten, und nur die h. Katharina blieb, aus besonderer Anhänglichkeit Riccioli's an eine Frau dieses Namens, ungekränkt an ihrer Stelle. Indes, das Unternehmen Riccioli's war vom Glücke begünstigt, und wir sehen deshalb auf dem Monde oder wenigstens auf unseren Karten des Mondes zwar noch viele Seen und Meere aus den guten Zeiten des alten Hevel, aber auch hier unsern Hevel selbst mit Grimaldi, dort den König Alphons von Kastilien mit Ptolemäus, und an einem

ein zweites schwächeres Bild des Planeten erzeugt, welches man leicht für einen Satelliten desselben zu halten veranlaßt werden kann. Auch Wargentin in Stockholm sah einmal bei diesem Planeten eine ähnliche Erscheinung; als er aber, sich vor Täuschung zu sichern, das Fernrohr um dessen eigene Achse drehte, bewegte sich auch der vermeintliche Mond mit um den Planeten im Mittelpunkte des Fernrohrs, ganz ebenso, wie sich ein Flecken auf dem Glase des Instruments gedreht haben würde. Was wenigstens die Wahrnehmungen Fontana's betrifft, so kann kein Zweifel darüber sein, daß sie sich in dieser Weise erklären. Er sah den angeblichen Mond einfach, doppelt, oben, unten, aber immer zugleich Venus sehr strahlend. Ganz gleiche Erscheinungen hatte er bei Mars und Saturn. Der Marssatellit zeigte genau die Phase des Hauptplaneten und projizierte sich auf diesen! Man findet diese Ähnlichkeit der Phasen auch bei Venus und deren vermutetem Trabanten von anderen Beobachtern erwähnt, was von vorherein sehr verdächtig klingt, da einerseits Spiegelbilder allerdings so beschaffen sein müßten, aber andererseits an dem gewiß kleinen Satelliten mit mäßigen Fernrohren, wie sie hier in Frage kamen, Phasen schwer zu unterscheiden wären. Von einem anderen Teile der Beobachtungen des angeblichen Venusmondes hat Stroobant im Jahre 1887 nachgewiesen, daß es helle Fixsterne waren, die in der Nähe der Venus standen. Darunter gehört beispielsweise Horrebows Beobachtung im Jahre 1768, wo der vermeintliche Venusmond nicht anders als der Stern 5. Größe Θ Wage war.

---

dritten Orte Aristipp aus Cyrene mit Cassini aus Paris friedlich neben einander; ja selbst Riccioli glänzt noch in seiner früheren Glorie ganz auf dem obersten Punkte des Mondrandes. — Übrigens verstanden sich schon die Römer auf diese, wie es scheint, sehr leichten Künste, ja sie wußten sich dieselben sogar noch etwas bequemer zu machen. Nachdem sie ihren Imperatoren, diese mochten es verdienen oder nicht, Tempel und Altäre, Statuen und Triumphbogen ohne Zahl gewidmet, und nachdem eben dadurch diese Apotheosen den Reiz der Neuheit verloren hatten, suchten sie Ehrungen anderer Art aufzufinden. Die römischen Senatoren waren aber keine Weltumsegler, um die von ihnen entdeckten Länder mit den Namen ihrer Beherrscher zu beehren; sie waren auch keine Astronomen, um für sie neue Sternbilder an dem Himmel aufzusuchen, und ebensowenig konnte man die Länder und Meere des Mondes an sie verschenken, da man dieselben noch gar nicht kannte; sie verfielen daher auf die Verstümmelung ihres Kalenders, zu welchem Geschäfte sie weder vorzüglicher Instrumente noch besonderer Kenntnisse, sondern nur eines guten Maßes von Schmeichelei bedurften. So erhielten durch einen förmlichen Senatsbeschluß die Monate Julius und Augustus, den beiden ersten Imperatoren zu Ehren, ihre noch heute gebräuchlichen Namen, während sie früher Quinctilis und Sextilis hießen. Da aber die feine Courtoisie dieser Höflinge befürchtete, daß Augustus es übel nehmen könnte, wenn sein Monat, wie es bei dem Sextilis der Fall war, nur 30 Tage hätte, während doch der dem J. Cäsar früher gewidmete Monat Julius 31 Tage zählte, so wurde durch einen zweiten Senatskonsult beschlossen, dem Februar, der ohnehin nur 29 Tage zählte, noch einen Tag zu rauben und ihn dem August beizulegen. Auf dieselbe feierliche Weise erhielt später der Monat April den Beinamen des Ungeheuers Nero, und der Monat Mai den des noch schlechteren Claudius; ja Domitian wartete nicht erst die Dekrete seines knechtischen Senats ab, sondern geruhte höchstselbst, und zwar unter Androhung der Todesstrafe, zu befehlen, den Monat Oktober künftighin und für immerwährende Zeiten Domitianus zu nennen.

§ 49. (Wichtigkeit der Durchgänge der Venus vor der Sonne.) Wir haben bereits im dritten Kapitel von den Vorübergängen Merkurs vor der Sonnenscheibe gesprochen. Ganz ähnliche Erscheinungen bietet uns auch Venus dar, da ihre Bahn, als die eines untern Planeten, von der Erdbahn eingeschlossen wird, und daher dieser Planet ebenfalls zuweilen zwischen Sonne und Erde treten muß.

Diese Durchgänge der Venus sind aber in der neueren Astronomie von besonderer Wichtigkeit, daher wir uns auch hier etwas länger bei ihnen aufhalten wollen. Sie geben uns nämlich ein wertvolles Mittel, die Entfernung der Sonne von der Erde oder, was dasselbe ist, die halbe große Achse der Erdbahn zu bestimmen. Diese Halbachse ist aber das Maß, mit welchem die Astronomen das ganze Planetensystem ausmessen und überhaupt alle Entfernungen im Weltraume bestimmen, daher die genaue Kenntnis derselben in hohem Grade notwendig. Die Wahl dieses Maßes hängt nicht von der Willkür ab, wie wohl die Einheit aller andern Maße, sondern es wird uns gleichsam von der Natur selbst aufgedrängt. Nach dem dritten Kepler'schen Gesetze (I, § 77) nämlich verhalten sich die Quadrate der Umlaufszeiten der Planeten wie die Würfel der großen Halbachsen ihrer Bahnen. Diese Umlaufszeiten aber lassen sich, wie bereits oben (I, § 87) gesagt wurde, mit der größten Genauigkeit bestimmen. Mit gleicher Schärfe wird man also auch jene Halbachsen, d. h. die mittleren Entfernungen von der Sonne für alle Planeten bestimmen können, wenn man nur einmal eine einzige dieser Entfernungen, wenn man z. B. die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne kennt. Ja auch über die Größe der Planeten und über die der Sonne selbst müssen wir so lange in völliger Ungewißheit bleiben, als wir die Entfernung derselben von uns nicht näher kennen. Denn unsere Beobachtungen geben uns nur die scheinbare Größe dieser Himmelskörper, d. h. nur den Winkel, unter welchem uns ihr wahrer Durchmesser erscheint, aus welchem man den letzteren erst dann berechnen kann, wenn uns die Entfernung des Objektes bekannt ist (vgl. I, § 43).

§ 50. (Wann diese Durchgänge stattfinden.) Eigentlich sollte in jeder synodischen Revolution (I, § 86) der Venus, d. h. in je 584 Tagen, ein Durchgang dieses Planeten vor der Sonnenscheibe erfolgen, weil er in dieser Zeit einmal zwischen uns und der Sonne durchgehen muß. Allein da die Neigung seiner Bahn gegen die Ekliptik über 3^0 der Durchmesser der Sonne aber nur $0{\cdot}5^0$ beträgt, wird es oft geschehen, daß dieser Planet zur Zeit seiner unteren Konjunktion, wo er sich zwischen uns und der Sonne befindet, zu hoch über oder auch zu tief unter der Sonne steht, um von uns auf ihr gesehen werden zu können, und nur dann in der Sonne erscheinen, wenn dessen von der Erde gesehene Breite (I, § 81) nicht größer als die Summe der Halbmesser der Sonne und des Planeten, also nicht größer als 16'35" ist, da der Halbmesser der Sonne im Mittel 16' 2" und der der Venus in der untern Konjunktion 33" beträgt. Venus muß daher zu dieser Zeit in der Nähe eines ihrer Knoten (I, § 80) sein, von dem sie, wie man durch Rechnung zeigen kann, höchstens um 1^0 50' in Länge abstehen darf, wenn ein

Durchgang stattfinden soll. Da dies in einem Jahrhundert im allgemeinen nur einmal sich zuträgt, die Venus aber in 8 Jahren sehr nahe 13 Umläufe um die Sonne vollendet, also wieder in derselben heliozentrischen Länge in Konjunktion kommt, so wird die an sich seltene Erscheinung in der Regel in Intervallen von 8 Jahren paarweise eintreten. Bei Merkur ist dieser äußerste Abstand vom Knoten $3^0\ 28'$, also viel größer, und dies ist auch die Ursache, warum die Durchgänge Merkurs viel häufiger sind als die der Venus.*)

Die Durchgänge der Venus fallen seit dem Anfange des 17ten Jahrhunderts immer entweder in die erste Hälfte des Juni oder des Dezembers, und dies wird bis zu dem Jahre 3000 unserer Zeitrechnung der Fall sein, so daß immer zwei auf einander folgende Durchgänge im Juni, und die zwei auf diese kommenden im Dezember sich ereignen. Fängt man mit einem solchen Durchgange an, welcher der erste von den beiden in den Juni fallenden ist, wie dies z. B. mit dem des Jahres 1761 der Fall war, so kommen die andern Durchgänge nach der Reihe in 8, $105^1/_2$, 8, $121^1/_2$ Jahren, nach welchen sich dieselben Perioden von 8, $105^1/_2$ u. s. w. immer wiederholen. Diese Bemerkung gibt ein einfaches Mittel, die Zeiten aller folgenden Durchgänge zu finden, wenn man einmal einen derselben kennt. Bedenkt man, daß bei dieser Addition die auf ganze Zahlen ausgehenden Summen den Monat Dezember des vorhergehenden Jahres bedeuten, so findet man, daß die nächsten Erscheinungen dieser Art nach Dezember 1882, im Juni 2004 und 2012, im Dezember 2117 und 2125, im Juni 2247 und 2255 u. s. f. zu erwarten sind. Das Nähere mit aller hier wünschenswerten Genauigkeit für die in den nächsten 500 Jahren noch eintretenden 8 Venusdurchgänge enthält die folgende kleine Tafel.

Jahr.	Mittl. Par. Zeit der Konjunktion.	Zeit der Mitte des Durchganges.	Halbe Dauer des Durchganges.	Kürzeste geoz. Dist. der Zentren von ☉ und ♀
2004	8. Juni $9{\cdot}0^h$ Mrgs.	$8{\cdot}6^h$ Mrgs.	$2^h\ 45^m$	$0^0\ 11{\cdot}3'$ Südl.
2012	6. = $1{\cdot}5$ =	$1{\cdot}8$ =	3 21	0 8·3 Nördl.
2117	11. Dez. $3{\cdot}1$ =	$2{\cdot}7$ =	2 23	0 13·0 =
2125	8. = $3{\cdot}3$ Abds.	$3{\cdot}9$ Abds.	2 48	0 11·5 Südl.
2247	11. Juni $0{\cdot}5$ Mttgs.	$0{\cdot}0$ Mttgs.	2 8	0 13·3 =
2255	9. = $4{\cdot}9$ Mrgs.	$5{\cdot}1$ Mrgs.	3 36	0 6·4 Nördl.
2360	13. Dez. $2{\cdot}0$ =	$1{\cdot}6$ =	2 43	0 11·8 =
2368	10. = $2{\cdot}2$ Abds.	$2{\cdot}8$ Abds.	2 29	0 12·6 Südl.

§ 51. (Die ersten beobachteten Durchgänge der Venus.) Kepler war der erste, der diese Erscheinungen mit Hilfe seiner neuen Planetentafeln, die er dem Kaiser Rudolf II. zu Ehren die Rudolfinischen nannte, ankündigte, und dadurch die Astronomen auf diese wichtigen Erscheinungen aufmerksam machte. Die beiden ersten Durchgänge der Venus, die er im Jahre 1627 voraussagte, waren die der Jahre 1631 und 1761, von welchen der erste auf den 6. Dezember und der andere auf den 5. Juni von ihm berechnet wurden. Beide fanden auch in der That statt, und zwar der erste nur kurze Zeit nach seinem Tode, da er am

*) Noch viel seltner sind aus naheliegenden Gründen Vorübergänge von Planeten vor einander. Ein solcher Fall ereignete sich am 3. Oktober 1590, wo Mars von Venus vollständig bedeckt wurde.

15. November (n. St.) 1630 starb. Einen andern, zwischen jene beiden fallenden Durchgang, der am 4. Dezember 1639 eintrat, hatte Kepler mit seinen Tafeln nicht gefunden, und eben dieser, von ihm nicht vorausgesehene des Jahres 1639 war der erste, der je von einem Astronomen beobachtet worden ist. Horrox in England berechnete einige Zeit zuvor eine astronomische Ephemeride, aber nach den Tafeln von Landsberg, die zwar im allgemeinen viel weniger genau waren als die Rudolfinischen, die aber doch zufällig einen Durchgang der Venus für den 4. Dezember 1639 anzeigten, während die Kepler'schen Tafeln keinen gaben. Da er in die ersten Tafeln ein besonderes Vertrauen setzte, schickte er sich zu der Beobachtung an, und sah in der That durch nahe eine halbe Stunde die Venus in der Sonne, so wie auch sein Freund Crabtree, der nur wenige Kilometer von ihm wohnte und den er von dem Ereignisse benachrichtigt hatte. Allein diese Beobachtung hatte keine Folgen für die Wissenschaft, da sie dazu, wie wir bald sehen werden, an zwei sehr weit von einander entlegenen Orten zugleich gemacht werden muß. Auch hatte man damals von der Bedeutung dieses Phänomens zur Ermittelung der Entfernung der Sonne noch keine Vorstellung, da erst Gregory in seinem Werke „Optics" 1663 auf dieselbe aufmerksam machte. Doch gebührt das Verdienst, die große Wichtigkeit dieser Erscheinung für den eben genannten Zweck ins rechte Licht gestellt und die Beobachtung derselben den Astronomen dringend ans Herz gelegt zu haben, Halley, der diese Wichtigkeit 1677 bei Gelegenheit seiner Beobachtung eines Merkurdurchganges erkannte, die er auf der später durch ein anderes Ereignis berühmt gewordenen Insel St. Helena angestellt hatte. Die Astronomen bereiteten sich daher schon lange vor dem nächstfolgenden, sehnlichst erwarteten Venusdurchgange am 5. Juni 1761 zur Beobachtung desselben auf das eifrigste vor, und mehrere von ihnen reisten in sehr entfernte Gegenden, um ihren Zweck besser zu erreichen. Man findet die Geschichte dieser Vorbereitungen in den Mém. de l'Acad. de Paris 1757, 1761 und 1781. Die vorzüglichsten Beobachtungen dieses Durchganges sind die von Mason am Vorgebirge der guten Hoffnung, von Bergmann in Upsala, von Planmann zu Cajaneburg in Finnland und die zu Stockholm und Tobolsk angestellten. Die Berechnungen dieser Beobachtungen geben die Horizontalparallaxe der Sonne (I, § 40) für ihre mittlere Entfernung von der Erde zwischen 8″ und 9″. Wie man aber daraus diese Entfernung der Sonne selbst, die der eigentliche Hauptzweck dieser Beobachtungen ist, abzuleiten hat, wurde bereits oben (I, § 40) gesagt. Wendet man die dort gegebenen Vorschriften auf diese beiden Zahlen an, so findet man für die mittlere Entfernung der Mittelpunkte der Sonne und der Erde entweder 25 783 oder 22 918 Halbmesser der Erde, je nachdem man die Parallaxe der Sonne zu 8″ oder zu 9″ annimmt. Die Differenz dieser beiden Resultate ist 2865 Erdhalbmesser, also 18 Millionen km, oder beinahe der neunte Teil des Ganzen, sodaß man durch diese Beobachtungen die wahre Entfernung der Sonne noch nicht bis auf ihren zehnten Teil genau kennen gelernt hatte.

§ 52. (Frühere Versuche, die Horizontalparallaxe der Sonne zu finden.) So groß diese Ungewißheit auch scheinen mag, so ist sie doch in viel engere Grenzen eingeschlossen, als alle früherrn Bestimmungen, die man zu diesem Zwecke vorgenommen. Vor Hipparch hatte man von der Entfernung der Sonne nicht einmal eine auch nur etwas gegründete Mutmaßung. Pythagoras nahm sie nur dreimal größer als die des Mondes an, da sie doch über 400 mal größer ist. Aristarch von Samos war der erste, der sie gegen das Jahr 260 v. Chr. durch eine eigene Beobachtung zu bestimmen suchte, die wir oben (I, § 88) näher angegeben haben, und fand die Parallaxe der Sonne gleich 3′, also 20 mal zu groß. So fehlerhaft auch diese Bestimmung war, so konnte man doch bis zu dem Anfang des 17. Jahrhunderts nichts besseres finden. Posidonius, der zwei Jahrhunderte n. Chr. lebte, nahm die Distanz der Sonne gleich 13 150 Erdhalbmesser an, also nahe um die Hälfte zu klein; aber diese Annahme gründete sich auf keine eigentliche Beobachtung, sondern bloß auf eine Meinung, wie etwa die des ältern Plinius, der die Sonne 12 mal weiter setzt als den Mond, weil jene 12 und dieser nur einen Monat braucht, seine Revolution um die Erde zurückzulegen. Riccioli (gestorben 1671) fand aus einer großen Anzahl von ihm nach Art des Aristarch angestellter Beobachtungen die Parallaxe der Sonne 28″ bis 30″. Ptolemäus hingegen benutzte eine von Hipparch vorgeschlagene Methode, die Sonnenfinsternisse zu diesem Zwecke zu gebrauchen, die wohl sehr sinnreich, aber nicht mit Sicherheit anwendbar ist, weil der Unterschied zwischen den Entfernungen der Sonne und des Mondes von der Erde viel zu groß ist, weshalb er auch für die Parallaxe der Sonne das sehr fehlerhafte Resultat von 2′ 50″ fand. Selbst der große Observator Tycho Brahe (gestorben 1601) hatte noch sehr unrichtige Begriffe von diesem Gegenstande. Er setzte die Distanz der Sonne gleich 1142 Erdhalbmesser voraus, und wollte aus den Beobachtungen der Mondfinsternisse den Schluß ziehen, daß die Parallaxe der Sonne nicht kleiner als 3′ sein könne. Kepler hingegen bemerkte mit seinem gewöhnlichen Scharfsinne, daß die Parallaxe des Mars zur Zeit seiner Opposition, wie dies aus Tycho's Beobachtungen folgte (für die damaligen Beobachtungsmittel), unmerklich ist, und daß also dasselbe in einem noch viel höhern Grade von der Sonne gelten müsse. Mit den Instrumenten jener Zeit war es übrigens schwer, sich der Größe eines Winkels bis auf eine und selbst bis auf zwei Minuten zu versichern. Indeß nahm Kepler die Sonnenparallaxe gleich 1′, also noch immer 7 mal zu groß an.

Der erste, der uns eine der Wahrheit genäherte Kenntnis der Sonnenparallaxe gab, ist Dom. Cassini. Auf seinen Vorschlag wurde Richer von der Pariser Akademie nach Cayenne geschickt, um dort die mittägigen Höhen des Mars (I, § 41) zu beobachten, während dieselben Höhen in Paris von Picard und Römer beobachtet wurden. Cassini schloß daraus die Parallaxe des Mars gleich $25\frac{1}{2}$″, und dadurch war, mittels des dritten Gesetzes von Kepler, die der Sonne gleich $9\frac{1}{2}$″ gegeben, woraus also die Entfernung der Sonne von der

Erde gleich 21 712 Erdhalbmessern folgte. Diese Beobachtungen wurden im September des Jahres 1672 angestellt. In den folgenden Jahren setzte Cassini diese Untersuchungen auf einem andern Wege fort, indem er die Differenz der Rektascensionen des Mars mit benachbarten Fixsternen 6 Stunden vor und 6 Stunden nach seiner Kulmination verglich. Cassini fand durch diese zweiten Beobachtungen das erste Resultat im allgemeinen bestätigt. Noch besser eignete sich scheinbar zu diesen Bestimmungen die Venus, da sie uns in ihren unteren Konjuktionen noch beträchtlich näher kommt als Mars. Allein es ist schwer, die Mittagshöhen der Venus zu dieser Zeit zu beobachten oder auch ihre Lage gegen benachbarte Fixsterne zu bestimmen, da ihre Lichtphase dann sehr klein und diese Methode daher keiner sehr großen Genauigkeit fähig ist. Maraldi, Bianchini und Lacaille beschäftigten sich anhaltend damit und machten es zwar sehr wahrscheinlich, daß die Parallaxe der Sonne nahe 9″ betrage; aber die Astronomen mußten doch noch immer wünschenswert finden, eine andere, genauere Methode zu besitzen, um sich der wahren Größe dieses wichtigen Elementes vollkommen zu versichern.

§ 53. (Venusdurchgang von 1769.) Der Venusdurchgang des Jahres 1761 hatte ein Mittel, diesen Zweck zu erreichen, dargeboten. Allein man sah bald, daß bei dem Durchgange dieses Jahres mehrere ungünstige Verhältnisse zusammengewirkt hatten, und daß man sich daher zufriedengeben mußte, eine Bestätigung der von Cassini aufgestellten Parallaxe gefunden zu haben, obschon man anfangs gehofft hatte, sie genauer bestimmen und ihre Unsicherheit in engere Grenzen einschließen zu können.

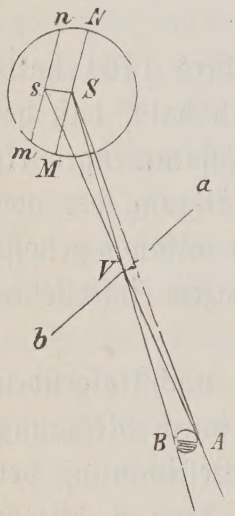
Unter diesen Umständen erwartete man mit Ungeduld den nächstfolgenden Durchgang der Venus am 3. Juni 1769, von dem man sich durch Rechnung voraus versichert hatte, daß er viel günstigere Verhältnisse zur Bestimmung der Sonnenparallaxe darbieten würde, wenn die Beobachtungen in den zu diesem Zwecke angemessensten Orten der Erde angestellt würden. Die dazu geeignetsten waren das Südmeer, Kalifornien und die nördlichsten Gegenden von Europa sowohl als auch von Asien.

Die Monarchen aller gebildeten Nationen Europas bemühten sich mit ruhmwürdigem, bis dahin beispiellosem Wetteifer, die Astronomen zur Erreichung dieses für die Wissenschaft so wichtigen Zweckes zu unterstützen. Frankreich, dessen Minister Choiseul sich der Sache mit besonderem Eifer annahm, sendete Astronomen nach Kalifornien, St. Domingo und Ostindien. Die königliche Akademie der Wissenschaften in London schickte auf Befehl und Kosten des Königs zwei ihrer Mitglieder nach Nordamerika, eines nach Madras und eines nach Otaheiti, welch letzteres (Green) seine Reise auf einem von dem berühmten Kapitän Cook kommandierten Schiffe vollendete. Die Kaiserin Katharina von Rußland ließ durch ihre Akademie in Petersburg Astronomen aus Deutschland und der Schweiz berufen und viele Instrumente zu diesem Zwecke in Paris und

London ankaufen, mit welchen ausgerüstet diese, außer St. Petersburg, noch 7 Stationen im nördlichen Sibirien besetzten. Der König von Dänemark bat sich zu diesem Zwecke den Astronomen Hell von Wien aus, der auf des Königs Kosten die Reise nach Wardoe im nördlichen Lappland machte, u. s. w. Außerdem wurde der Durchgang selbstverständlich noch an allen Sternwarten Europas beobachtet.

Kaum waren die Beobachtungsresultate bekannt geworden, als sich eine große Anzahl von Männern fand, welche die Berechnung derselben übernahmen. Hornsby in England fand aus den von ihm zu Grunde gelegten Beobachtungen die Horizontalparallaxe der Sonne für ihre mittlere Entfernung von der Erde 8·8″ und ganz ebenso auch Pingré. Planmann in Schweden fand 8·4″, Lalande 8·5″, Lexell 8·68″, Hell 8·70″. Encke, der die sämtlichen als gut anerkannten Beobachtungen der beiden Durchgänge von 1761 und 1769 mit der größten Sorgfalt berechnete, bestimmte nach einer von K. v. Littrow aufgefundenen Verbesserung der Hell'schen Beobachtung die Sonnenparallaxe für die mittlere Entfernung der Sonne und für einen Beobachter im Äquator gleich 8·57″.

Fig. 54.



Dieser Wert der Sonnenparallaxe wurde bis in die Mitte unseres Jahrhunderts für ungemein genau und höchstens um seinen 200. Teil (0·04″) für unsicher gehalten; es galt daher die Entfernung der Erde von der Sonne für eine der bestbestimmten Konstanten. Ehe wir jedoch auf die neueren Untersuchungen in dieser Richtung eingehen, wollen wir zunächst erörtern, wie man aus den Venusdurchgängen die Sonnenparallaxe finden kann, zuvor aber noch bemerken, daß die Encke'sche Sonnenparallaxe 8·57″ auf eine Entfernung der Sonne von $153^1/_2$ Millionen km mit einer angeblichen Unsicherheit von nur 700 000 km führt.

§ 54. (Methode, aus diesen Durchgängen die Sonnenparallaxe zu bestimmen.) Ist AB (Fig. 54) die Erde, V die Venus und S die Sonne, so kann man, ohne in der Erscheinung etwas zu ändern, die Erde in Beziehung auf die jährliche Bewegung als ruhend sich vorstellen und dafür der Venus die Differenz derjenigen zwei Bewegungen geben, welche dieser Planet und die Erde in der That haben. Sei also aVb der Weg, welchen Venus mit dieser relativen Bewegung während der Zeit des ganzen Durchgangs in ihrer Bahn beschreibt. Läßt man der größeren Einfachheit wegen A und B zwei Beobachter auf der Oberfläche der Erde sein, welche die zwei Endpunkte desjenigen Erddurchmessers AB einnehmen, der auf der Ebene der Ekliptik senkrecht steht und vorläufig auch die tägliche Rotation der Erde außer Betrachtung, nimmt man also an, daß die zwei Beobachter ihre Lage gegen die Sonne unverändert beibehalten, so wird der eine Beobachter A zu einer gewissen Zeit den Mittelpunkt der Venus auf der Sonnenscheibe in s und der andere Beobachter B in S sehen; wenn beide nun Mittel

besitzen, die Entfernung der Punkte s und S von dem Mittelpunkte oder von dem Rande der Sonne mit Genauigkeit zu messen, so wird ihnen die Größe des Bogens sS bekannt sein. Da nun die Linien Ss und AB sehr nahe parallel sind, indem sie beide auf der Ekliptik senkrecht stehen, so hat man aus den ersten Elementen der Geometrie die Proportion

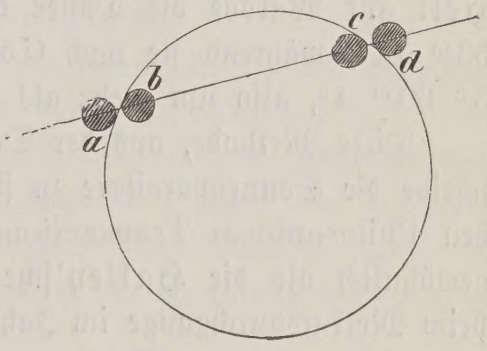
$$sS : AB = SV : VB.$$

Allein SV ist die Distanz der Sonne von der Venus und VB die der Venus von der Erde; nimmt man daher die Distanz BS der Erde von der Sonne als Einheit an, so ist nach dem dritten Kepler'schen Gesetze (I, § 77) SV sehr nahe 0·72 und daher VB = 0·28. Man hat also auch

$$Ss : AB = 72 : 28 \text{ oder nahe} = 5 : 2$$

d. h. jener Bogen Ss nimmt auf der Oberfläche der Sonne einen Raum ein, der $^5/_2$mal so groß ist als der Durchmesser AB der Erde. Dieser Bogen selbst, in Sekunden ausgedrückt, ist daher auch $^5/_2$mal so groß als derjenige Bogen, unter welchem der Durchmesser der Erde, von der Sonne aus gesehen, erscheinen würde, d. h. der Winkel SAs ist $^5/_2$mal größer als der Winkel BSA. Dieser letzte Winkel ist aber (I, § 40) die doppelte Parallaxe der Sonne. Sei nun der Winkel SAs oder der Bogen Ss gleich 44″ gefunden worden, so folgt, daß die doppelte Sonnenparallaxe 44mal $^2/_5$ oder 17·6″ und daher diese Parallaxe selbst 8·8″ beträgt.

Fig. 55.



Daraus sieht man, daß jeder Beobachtungsfehler, den man in der Messung des Winkels SAs oder des Bogens Ss begeht, nur den fünften Teil dieses Fehlers in der gesuchten Sonnenparallaxe hervorbringen wird, was für die Bestimmung dieser letzten Größe sehr vorteilhaft ist, besonders dann, wenn man Mittel besitzt, den Bogen Ss selbst mit großer Genauigkeit zu messen. Diesen Zweck wird man erreichen, wenn man an beiden Orten A und B der Erde den Eintritt der Venus in m und M und ebenso den Austritt in n und N aus der Sonnenscheibe beobachtet.

Jede dieser Phasen setzt sich aber aus zwei Momenten zusammen, aus der äußeren (Fig. 55 a und d) und inneren Berührung (Fig. 55 b und c) der Ränder von Venus und Sonne beim Ein- und Austritte. Der erste, äußere Eintritt bei a kann wohl leicht zu spät beobachtet werden, wenn man den Punkt des östlichen Sonnenrandes nicht genau weiß, an welchem die Venus eintreten soll, obschon man diesen Punkt durch Rechnung vorausbestimmen kann. Allein der zweite oder innere Eintritt bei b sowie der innere Austritt bei c läßt sich mit dem Auge verfolgen, bis der eigentlich entscheidende Augenblick, d. h. die

Bildung des feinen Lichtfadens eintritt, der zwischen den Rändern der beiden Himmelskörper bei ihrer Berührung entsteht, und müßte sich daher, wie man meinen sollte, sehr scharf beobachten lassen. Nicht viel weniger genau scheint es auch, daß man den letzten äußeren Austritt bei d werde angeben können.

Aus den beobachteten Ein- und Austritten erhält man aber eigentlich die Wege MN und mn (Fig 54), welche der Planet auf der Sonne beschreibt, weil man dieselben ohne merklichen Fehler als geradlinig ansehen kann, und weil man die relative Bewegung der Venus auf der Sonne durch unsere Tafeln sehr genau kennt. Es ist daher jetzt das Problem auf die Auflösung der sehr einfachen Aufgabe zurückgeführt, die Distanz Ss zweier Sehnen eines Kreises zu finden, in welchem die Größe dieser Sehnen sowohl als auch der Halbmesser des Kreises, d. h. hier der Halbmesser der Sonne, bekannt sind. Diese Distanz Ss wird sich aber gerade hier mit um so größerer Schärfe bestimmen lassen, als die scheinbare Bewegung der Venus auf der Sonne sehr langsam vor sich geht und deshalb schon sehr geringe Änderungen in der Länge der Sehnen MN und mn sehr bedeutende Unterschiede in der Dauer des Verweilens des Planeten auf der Sonne herbeiführen. So bestimmte beim Durchgange der Venus am 3. Juni 1769 Hell auf Wardoe die Dauer desselben (für die inneren Berührungen) zu $5^h\ 53^m\ 14^s$, während sie nach Cook, Green und Solander auf Otaheiti bloß $5^h\ 30^m\ 4^s$, also um mehr als 23^m weniger betrug.

Diese Methode, aus der Dauer des Verweilens der Venus auf der Sonnenscheibe die Sonnenparallaxe zu finden, wurde von Halley in zwei Schriften in den Philosophical Transactions 1691 und 1716 entwickelt, weshalb sie auch gewöhnlich als die Halley'sche bezeichnet wird. Aus seinen Wahrnehmungen beim Merkursdurchgange im Jahre 1677 glaubte er folgern zu dürfen, daß man die Zeit der inneren Berührungen mindestens bis auf 1^s, also die Dauer des ganzen Durchganges mindestens bis auf 2^s genau beobachten könne. Nehmen wir aber an, man hätte in dem Unterschiede der Dauer des Durchganges von zwei der günstigst gelegenen Stationen um volle 4^s gefehlt, so ist dies doch erst $^1/_{350}$ des ganzen Betrages (da wir eben bemerkten, daß dieser Unterschied in der Dauer zwischen Wardoe und Otaheiti auf $23^m\ 10^s$ oder 1390^s stieg). Es wird deshalb auch, selbst durch die Annahme eines so großen Fehlers, die gesuchte Sonnenparallaxe bloß um $^1/_{350}$ ihres Wertes, also, diesen rund zu 9″ angenommen, bloß um 0·04″ falsch gefunden werden. Halley schließt deshalb seinen lehrreichen Aufsatz mit den Worten:

„Ich empfehle daher diese Methode auf das dringendste allen Astronomen, welche Gelegenheit haben sollten, diese Dinge zu einer Zeit zu beobachten, wann ich schon tot bin. Mögen sie dieses meines Rates eingedenk sein und sich recht fleißig mit aller ihrer Kraft auf diese wichtigen Beobachtungen verlegen, wozu ich ihnen herzlich wünsche, zuerst, daß sie nicht durch ungünstige Witterung des ersehnten Anblicks beraubt werden, und dann, daß sie, wenn sie die wahre Größe

unserer Planetenbahnen mit mehr Genauigkeit bestimmt haben, daraus unsterblichen Ruhm und Ehre schöpfen mögen."

Der Einfachheit wegen haben wir oben angenommen, daß die Erscheinung von zwei Standpunkten aus beobachtet werden könne, die um einen Durchmesser der Erde von einander abstehen. In der Wirklichkeit wird die Zone, in der das Phänomen beobachtet werden kann, immer schmäler sein und die Rechnung sich dann weniger kurz gestalten. Je verschiedener übrigens die an beiden Orten beobachtete Dauer ausfällt, desto genauer wird selbstverständlich das abgeleitete Resultat. Die Rotation der Erde, welche wir oben unberücksichtigt ließen, kann die Dauer der Erscheinung an beiden Orten je nach Umständen bald in nahe gleichem, bald in entgegengesetztem Sinne beeinflussen, in jenem Falle also ziemlich ohne Wirkung auf den Unterschied der Dauer bleiben, in diesem sehr dazu beitragen, denselben zu vergrößern. Das letztere war der Fall bei den Durchgängen von 1769 und 1882, während bei der Erscheinung von 1874 die Rotation beinahe ohne Einfluß auf die Dauer war. Von den, wie wir (§ 50) wissen, in Intervallen von 8 Jahren paarweise sich einstellenden Venusdurchgängen sind stets die späteren günstiger als die ersten, um aus der Dauer des Phänomens an den verschiedenen Orten die Sonnenparallaxe abzuleiten.

Hat man nicht Ein- und Austritt, sondern nur einen dieser beiden Momente gesehen, so wird die Rechnung verwickelter, da dann die absoluten Zeiten der Beobachtung erforderlich sind, welche die oft schwierige Kenntnis der geographischen Länge der Station bedingen. In diesem Falle hängt die größere oder geringere Geeignetheit des Phänomens für den hier verfolgten Zweck nämlich davon ab, daß die absoluten Zeiten der Ein- oder der Austritte für die einzelnen Stationen möglichst verschieden ausfallen.

Denkt man sich in V (Fig. 54) Merkur statt der Venus, so werden die Zahlen für SV und VB beziehungsweise 0·39 und 0·61, stehen also zu einander nahe in dem Verhältnis von 2 zu 3, d. h. ein Beobachtungsfehler in der Messung des Bogens Ss bewirkt hier eine anderthalbmal größere Unrichtigkeit in der gesuchten Sonnenparallaxe, weshalb Merkursdurchgänge sich für solche Zwecke nicht eignen.

§ 55. (Schwierigkeiten bei der Beobachtung von Venusdurchgängen.) So sehr sich nun dem Vorhergehenden zufolge die Venusdurchgänge theoretisch zur Bestimmung der Sonnenparallaxe empfehlen, bieten sie doch praktisch gewisse Schwierigkeiten, welche die Genauigkeit der abzuleitenden Resultate wesentlich beeinträchtigen. Die unmittelbare Beobachtung der Ein- und Austritte hängt nämlich von den scheinbaren Halbmessern ab, unter denen Sonne und Venus uns erscheinen, und diese sind beide im allgemeinen durch Irradiation (I, § 112) alteriert. Die Sonne erscheint uns größer, Venus auf dem hellen Hintergrunde während eines Durchganges kleiner, als sie sollte. Infolgedessen werden die wirklichen Kontakte sich nicht in dem Augenblicke bilden, in welchem die von uns wahr-

genommenen Ränder von Sonne und Venus einander decken, sondern in dem, wo die eigentlichen Ränder beider Himmelskörper über einander zu liegen kommen.

Dies hat eine eigentümliche Erscheinung zur Folge, die schon bei dem Durchgange von 1761, noch mehr aber bei dem von 1769 die Beobachter überraschte und verwirrte. Statt daß nämlich bei den inneren Berührungen (Fig. 55, b, c), wie man allgemein erwartet hatte, der Eintritt der Venus auf die Sonnenscheibe durch das Bilden eines feinen Lichtfadens und ihr Austritt durch dessen Zerreißen sich scharf kennzeichnen würden, schienen beim Eintritte die Ränder von Sonne und Venus an einander zu haften und blieben längere Zeit durch ein schwarzes, mehr oder minder breites Band verbunden, bei dessen endlichem Zerreißen Venus schon verhältnismäßig tief innerhalb des Sonnenrandes stand. Etwas ähnliches zeigte sich beim Austritte. Hier bildete sich, noch lange ehe der dunkele Venusrand den Sonnenrand erreicht zu haben schien, plötzlich wieder eine schwarze Brücke zwischen beiden, welche auch die Beobachtung dieses Momentes zu einer sehr schwierigen und unsicheren gestaltete. Übrigens hat man die Bildung dieses Bandes oder, wie es auch häufig genannt wird, „schwarzen Tropfens", seit man durch die Venusdurchgänge darauf aufmerksam wurde, auch bei Merkursdurchgängen bemerkt, nur daß wegen der viel rascheren scheinbaren Bewegung desselben diese Erscheinung bloß eine kürzere Zeit andauert und deshalb weniger auffällt und weniger störend wirkt. Bei Sonnenfinsternissen hingegen hat man sie wegen der noch rascheren Bewegung des Mondes, wegen der nahe gleichen Größe der scheinbaren Halbmesser dieser Gestirne und wegen der Unebenheiten des Mondrandes bisher nicht bemerkt, wohl aber haben Goneſſiat und Marchand während der Sonnenfinsternis vom 17. Mai 1882 sowie Bigourdan während der vom 17. April 1893 bei der Bedeckung von Sonnenflecken durch den Mond ein ganz ähnliches Phänomen wahrgenommen.

Der durch die eben genannte Erscheinung und durch eine Reihe anderer Umstände hervorgerufenen Unsicherheit trugen Encke und nach ihm längere Zeit hindurch alle Astronomen viel zu wenig Rechnung bei der Beurteilung der Genauigkeit des Resultats, welches sich aus den Venusdurchgängen von 1761 und 1769 für die Sonnenparallaxe ergeben hatte, und überschätzten daher die Sicherheit desselben sehr erheblich. Erst als man durch die Fortschritte der heutigen Beobachtungskunst nach und nach noch mehrere andere Mittel zu einer sicheren Bestimmung der Sonnen-Entfernung kennen lernte, häuften sich die Anzeichen immer mehr und mehr, daß der Encke'sche Wert 8·57″ der Sonnenparallaxe bedeutend zu klein sei und auf 8·8″ bis 8·9″ vergrößert werden müsse, oder mit anderen Worten, daß wir der Sonne reichlich 5 Millionen km näher stehen, als man bisher allgemein angenommen hatte.

§ 56. (Die Venusdurchgänge von 1874 und 1882.) Bei dieser Sachlage erwartete man begreiflicherweise den immer näher heranrückenden Venusdurchgang von 1874

mit großer Spannung. Durch die Verbesserung der Fernrohre, von denen bei den letzten Durchgängen selbst vielfach noch unachromatische in Anwendung gekommen waren, durch die bedeutende Verfeinerung der Meßapparate, durch die Vervollkommnung der Beobachtungskunst überhaupt und namentlich auch durch eine zweckmäßige Schulung der Beobachter an künstlich nachgeahmten Venusdurchgängen durfte man nicht ohne Grund hoffen, daß es gelingen werde, diesem Phänomene auch in unserem Jahrhunderte eine ähnliche Superiorität über die anderen Methoden zur Bestimmung der Sonnenparallaxe zurückzuerobern, welche es im vorigen Jahrhunderte, trotz der oben hervorgehobenen Schwierigkeiten, unstreitig besessen hatte. Dazu kam noch, daß in der Photographie ein neues, damals noch ganz unbekanntes Beobachtungsmittel hinzugetreten war, von dem man sich besonders viel versprechen zu dürfen glaubte.

Es darf uns daher nicht befremden, daß auch diesmal die Regierungen fast aller gebildeten Nationen des Erdballs in edlem Wettstreite die großartigsten Anstrengungen machten, dieses seltene Phänomen für die Wissenschaft möglichst auszunützen; ja, man darf wohl kühn behaupten, daß zur Förderung einer rein wissenschaftlichen Frage so bedeutende Summen noch nie verwendet wurden.

Der Erfolg aller dieser Anstrengungen war aber nicht so befriedigend, als man erwartet und gehofft hatte. Wohl hatte sich durch die gebrauchten Vorsichten die Genauigkeit der Beobachtungen dieses Phänomens erheblich gesteigert, aber doch bei weitem nicht in dem Maße, wie die Beobachtungskunst in anderen Richtungen fortgeschritten war, und es zeigte sich namentlich die Photographie im allgemeinen noch nicht so weit entwickelt, daß sie bereits damals mit anderen Beobachtungsarten, beispielsweise Heliometermessungen, hätte erfolgreich in die Schranken treten können.

Dies Resultat war übrigens minder entmutigend, als es anfänglich schien. Denn man hatte nie erwartet, schon den Venusdurchgang von 1874 so erfolgreich beobachten zu können, als unsere neuere Beobachtungskunst es zuläßt; man hatte ihn vielmehr immer nur als ein vorzügliches Mittel betrachtet, die relative Kraft der neuen Beobachtungsmethoden zu erproben, und von vornherein den Schwerpunkt auf den Venusdurchgang von 1882 verlegt, bei welchem die gewonnenen Erfahrungen möglichst zweckmäßig verwertet werden sollten. Um so bedauerlicher war es daher, daß die Diskussion der Beobachtungen mehr als die ganze Zwischenzeit zwischen den beiden Durchgängen beanspruchte, so daß die Erfahrungen von 1874 nur in beschränktem Maße den Beobachtungen von 1882 zu gute kommen konnten. Infolge dieser Umstände hatten sich beim Herannahen des 6. Dezembers 1882 die weitgehenden Erwartungen, die man an dieses Phänomen geknüpft, bedeutend herabgemindert; es wurden wohl auch diesmal außerordentliche Anstrengungen zur möglichst vollständigen und zweckmäßigen Beobachtung der Erscheinung gemacht; allein nicht mehr in der ge-

hobenen Stimmung und in der Hoffnung, die man acht Jahre vorher genährt, die Sonnenparallaxe mindestens auf 0·01″ genau zu erhalten.

Die für die Parallaxe π der Sonne aus der Kombination der beiden Durchgänge von 1874 und 1882 sich ergebenden Werte lauten nach den Beobachtungsmethoden geordnet:

1. Aus den photographischen Aufnahmen der Franzosen, Engländer und Amerikaner . . . . . π : 8·84″ bis 8·86″
2. Aus den Ein- und Austrittzeiten der Venus . π : 8·82″ bis 8·86″
3. Aus den Heliometerbeobachtungen der deutschen Expeditionen . . . . . π : 8·88

während Newcomb aus einer Neubearbeitung der Venusdurchgänge von 1761 und 1769 findet π : 8·79″.

§ 57. (Andere Bestimmungen der Sonnenparallaxe.) Wir haben bereits oben (§ 55) erwähnt, daß uns jetzt eine Reihe von Mitteln zu Gebote steht, die Sonnenparallaxe zu bestimmen, und daß diese alle darauf hinwiesen, daß der Encke'sche Wert dieser Größe zu klein sei. Die ersten betreffenden Zweifel machte Hansen auf Grund der vorbereitenden Arbeiten zu seinen trefflichen Mondtafeln im Jahre 1854 rege, und diese Zweifel wurden kurz darauf auf ähnlichem Wege von Airy und aus den Theorieen von Sonne, Venus und Mars von Le Verrier bestätigt. Es unterliegen nämlich die Bewegungen des Mondes, der Erde, der Venus und des Mars gewissen Änderungen, die von der Masse der Erde abhängen, während diese Masse in einer bekannten Relation mit der Sonnenparallaxe steht, so daß, wenn aus jenen Aenderungen die Erdmasse bestimmt wird, dadurch auch die Sonnenparallaxe gegeben ist.

Diese Methode, aus der Vergleichung astronomischer Beobachtungen von Planeten mit den theoretischen Forderungen des Gravitationsgesetzes die Masse der Erde und damit auch die Sonnenparallaxe zu finden, kann man sehr zweckmäßig analytische Methode nennen. Sie wird in künftigen Zeiten, wenn die Störungen der Planeten unter einander durch mehrere Jahrhunderte mit der Genauigkeit bekannt sein werden, welche unsere heutigen Mittel zu erreichen gestatten, bei weitem das sicherste Mittel zur Bestimmung der Sonnenentfernung liefern.

Dieser analytischen Methode kann man die geometrische an die Seite setzen, welche die Entfernung der Sonne aus den parallaktischen Verschiebungen der Erde naher Planeten ermittelt. Zu dieser Methode sind vor allen zu zählen die Venusdurchgänge, ferner Oppositionsbeobachtungen von Mars, welche Airy schon 1857 empfahl. Doch wurden diese erst vom Jahre 1862 an, das in dieser Beziehung besonders günstige Verhältnisse bot, entsprechend gewürdigt, wo Winnecke hervorhob, daß die bereits einmal (§ 52) besprochenen Beobachtungen von Mars in dessen Oppositionen nur aus äußeren Gründen den älteren Astronomen weniger genaue Resultate geliefert hatten. Im Jahre 1872 schlug Galle

zu diesem Zwecke Beobachtungen von solchen kleinen Planeten vor, die sich in ihrer Opposition der Erde auf eine kleinere Distanz als die mittlere Entfernung der Sonne nähern können. Als besondere Vorteile dieser Methode hob er hervor, daß die Asteroiden vermöge ihrer Kleinheit von Fixsternen sich gar nicht unterscheiden und sich daher leichter und sicherer mit jenen vergleichen lassen als etwa Mars, der sich als ausgedehnte Scheibe darstellt. Ein weiterer Vorteil dieser Methode ist der, daß sie sehr häufig, und ohne weitere Kosten zu verursachen, angewendet werden kann, da bei der großen Anzahl dieser Himmelskörper kein Jahr mehr vergeht, in welchem nicht einer oder der andere derselben die oben geforderten günstigen Verhältnisse darbieten würde. Es ist daher diese Methode seither auch in der That bereits mehrmals mit gutem Erfolge benutzt worden. Endlich hat Winnecke (1881) noch darauf hingewiesen, daß Sternbedeckungen durch die Venus keineswegs so selten eintreten, wie man bisher meinte, und daß die Beobachtung derselben ebenfalls ein vorzügliches Mittel zur Bestimmung der Sonnenparallaxe liefern würde.

Durch die Foucault im Jahre 1862 gelungene genaue, später, wie wir wissen, noch sehr vervollkommnete Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichtes (I, § 46) haben wir eine dritte Gattung von Methoden, die physikalischen, zur Bestimmung der Sonnenparallaxe erhalten. Denn die sogenannte Aberration (I, Kap. VI) rührt bekanntlich von dem Verhältnisse her, in welchem die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn zu der des Lichtes steht; kennt man also die letztere, so kann man daraus und aus der Aberration die erstere, somit die Entfernung der Erde von der Sonne oder die Sonnenparallaxe finden. Diese physikalische oder, wie man sie auch nennen kann, tachymetrische Methode wird noch einen weiteren Zuwachs erhalten, wenn die Lichtgleichung (I, §. 48) für den Jupiter durch Beobachtung der Finsternisse von dessen Satelliten mit den jetzigen Hilfsmitteln genauer bestimmt wird, als es bisher der Fall war, wo dann aus der Zeit, die das Licht braucht, um von der Sonne zur Erde zu gelangen, die gesuchte Entfernung der Erde von der Sonne unmittelbar folgt.

Aus einer umsichtigen Diskussion dieser verschiedenen Bestimmungen fand Newcomb im Jahre 1865

$$\text{Sonnenparallaxe} = 8{\cdot}85''$$

omit die mittlere Entfernung der Sonne von der Erde: 148 600 000 km.

Diese Zahl, welche jetzt allgemein angenommen wird, ist übrigens gewiß schon so zuverlässig, daß wir nicht befürchten dürfen, sie werde durch spätere Beobachtungen irgend welcher Art noch eine erhebliche Änderung erleiden: es wird durch dieselben ihre Unsicherheit, die man heute auf etwa 0·02″ bis 0·03″ (330 000 bis 500 000 km) schätzen kann, nur noch in immer engere und engere Grenzen eingeschlossen werden.

Kapitel V.

Mars.

§ 58. (Entfernung, Umlaufszeit, Zeichen des Mars.) Mars hat uns in Beziehung auf unsere Kenntnisse des Sonnensystemes schon zweimal sehr wichtige Dienste geleistet. Er war es nämlich, der Kepler wegen der großen Excentricität seiner Bahn auf die Entdeckung der elliptischen Bewegung geführt hat, durch welche die Astronomie eine ganz andere Gestalt erhielt. Ferner haben wir im vorigen Kapitel (§ 52) gesehen, daß Mars uns die erste genaue Bestimmung der Sonnenparallaxe gegeben und auch in neuerer Zeit (§ 57) wieder wertvolle Beiträge zur Feststellung dieser wichtigen Konstante geliefert hat.

Die mittlere Entfernung des Mars von der Sonne oder die halbe große Achse seiner Bahn beträgt 1·524 der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne, oder 226 Millionen km. Infolgedessen ist er der erste jener Planeten, die sich außerhalb der Erdbahn bewegen und obere genannt werden, zum Unterschiede von Merkur und Venus, welche innerhalb der Erdbahn die Sonne umkreisen und als untere bezeichnet werden (vgl. I §§ 59, 60). Weil seine Bahn die der Erde umschließt, sieht man ihn nicht bloß in der Nachbarschaft der Sonne, sondern zuweilen auch ihr gegenüber, wo er um Mitternacht durch den Meridian geht, und, wie man sagt, mit der Sonne in Opposition steht. Aus derselben Ursache sieht man ihn nie in der Gestalt einer Sichel, wie Merkur und Venus, wohl aber zu den Zeiten, wo er 90° von der Sonne absteht, (den sogenannten Quadraturen) den östlichen oder westlichen Rand desselben so weit beschattet oder dunkel, wie bei unserem Monde etwa 3 Tage vor und nach dem Vollmonde. Noch kleiner ist dieser dunkle Teil bei den übrigen oberen Planeten Jupiter, Saturn u. s. w., die, selbst durch unsere besten Fernrohre besehen, immer vollkommen rund erscheinen.

Die Excentricität seiner Bahn ist, wie bereits eingangs hervorgehoben wurde, sehr beträchtlich: er nähert sich deshalb im Perihel der Sonne bis auf 205 Millionen km, während er sich im Aphel bis auf 248 Millionen km von ihm entfernt. Noch weitaus größer sind aber die Verschiedenheiten seiner Distanzen von der Erde. In der Opposition, wo er ihr am nächsten steht, ist er zuweilen nur 57 Millionen km entfernt, in der Konjunktion hingegen, wo er von ihr am weitesten absteht, kann seine Entfernung bis auf 396 Millionen km oder das 7 fache steigen.

Diesen Entfernungen entsprechend ist auch sein von der Erde gesehener scheinbarer Durchmesser sehr veränderlich. Zur Zeit der Konjunktion beträgt derselbe nur 4″, oder er erscheint uns da nur in der Größe des Uranus; zur Zeit seiner Opposition hingegen mißt er 26″, ist also beinahe so groß wie Jupiter, wenn dieser am kleinsten erscheint. Nicht minder veränderlich ist auch die Licht-

stärke, in welcher wir ihn erblicken. Zur Zeit der Konjunktionen erglänzt er nur in der Helligkeit eines Sternes dritter Größe; bei mittleren Entfernungen in seinen Oppositionen sendet er uns aber eine Lichtmenge zu, die nach Zöllner zu jener der Sonne wie 1 : 6994 Millionen sich verhält, nach neueren Untersuchungen von Pickering indes bedeutend geringer ist und nur die Hälfte dieser Größe beträgt. Aber selbst die letztere Zahl angenommen, leuchtet er dann noch immer mit der dreifachen Lichtstärke, etwa $1^1/_2$ Größenklassen heller als mittlere Sterne erster Größe.

Der Durchmesser des Mars ist 6750 km oder wenig mehr als die Hälfte des Erddurchmessers; seine Oberfläche enthält 143 Millionen Quadratkilometer, und sein Volumen 161 000 Millionen Kubikkilometer, — Größen, welche resp. 0·3 und 0·14 der betreffenden Größen des Erdkörpers ausmachen.

Den Bewohnern des Mars erscheint die Sonnenscheibe unter einem Winkel von 22·7′ oder um mehr als 9′ kleiner als uns, und erleuchtet seine Tage nur halb so stark als die unsrigen, da die Beleuchtung sich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung vom leuchtenden Körper verhält.

Die Umlaufszeit dieses Planeten um die Sonne beträgt 686·980 Tage in Beziehung auf die Fixsterne, 686·930 Tage in Beziehung auf den Frühlingspunkt, und 779·46 Tage synodisch (I §§ 84, 85, 86). Daraus folgt, daß er in seiner mittleren Geschwindigkeit während jeder Sekunde 29·6 km zurücklegt.

Die Masse des Mars war bis vor kurzem schwer mit Genauigkeit zu bestimmen, da wir dazu kein anderes Mittel hatten als die Störungen, die er im Laufe der Erde hervorbringt, indem man aus ihnen rückwärts auf die eigentliche Kraft, d. h. auf die Masse des störenden Körpers schließt. Allein da diese Störungen wegen der geringen Masse des Mars, selbst wenn sie am größten sind, nur 7″ betragen, so gewährten sie keine hinlängliche Sicherheit. Seit der Entdeckung zweier Satelliten durch Asaph Hall im August 1877 hat sich indes die Sachlage wesentlich geändert. Wir werden nämlich unten (Abt. III, Kap. 1) sehen, wie man das Verhältnis der Masse eines mit Satelliten versehenen Planeten gegen die Masse der Sonne bestimmen kann, wenn die Umlaufszeit des Planeten um die Sonne, die Umlaufszeit des Satelliten um seinen Hauptplaneten und endlich der scheinbare Halbmesser der Bahn dieses Satelliten zur Zeit der mittlern Entfernung des Planeten von der Sonne durch die Beobachtungen gegeben sind. Nennt man nämlich a den Würfel dieses Halbmessers, multipliziert in das Quadrat der Umlaufszeit des Planeten und dividiert durch das Quadrat der Umlaufszeit des Satelliten, so findet man die Masse dieses Planeten gleich der Größe a dividiert durch 1 — a, wenn die Sonnenmasse als Einheit vorausgesetzt wird. Newton hat uns diese schöne und einfache Methode kennen gelehrt und sie auch zugleich auf Jupiter, den einzigen Planeten angewendet, bei dem damals die Bahnelemente seiner Satelliten für eine derartige Berechnung genau genug bekannt waren. Die Beobachtungen der Marsmonde ergeben nun für

dessen Masse mit großer Sicherheit $^1/_{3093500}$ der Sonnenmasse, oder wenig mehr als 0·1 der Erdmasse, und damit die Dichtigkeit seiner Masse 0·7 der mittleren Dichte der Erde. Körper auf der Oberfläche desselben fallen in der ersten Sekunde nur durch 1·9 m, also wenig mehr als auf Merkur.

Mars als Gott des Krieges erhielt das Symbol ♂, des Pfeiles mit dem Schilde, in der Chemie das Zeichen des Eisens, des unentbehrlichsten Metalles für den Krieg.

§ 59. (Rotation des Mars.) Man erkennt diesen Planeten sehr leicht an seiner trübroten Farbe, welche der des mattglühenden Eisens ähnlich ist. Bald nach der Entdeckung der Fernröhre hat man auch mehrere Flecken auf seiner Oberfläche beobachtet, die eine braunrötliche Färbung besitzen, während andere grünlich bis blau gefärbt erscheinen.

Den auffälligsten dieser Flecken bemerkte schon 1636 F. Fontana, und er wie Zucchi schlossen aus den scheinbaren Veränderungen desselben bereits 1638 auf eine Rotation des Mars, so daß er der erste Planet ist, an dem man eine Achsendrehung wahrnahm. Diese interessanten Beobachtungen blieben indes längere Zeit unbeachtet, bis 1659 zunächst Huyghens darauf zurückkam und kurz nachher (1660) Cassini aus seinen Beobachtungen als der Erste die Dauer der Rotation von Mars zu 24 St. 40 Min. mittlerer Zeit (I, § 95) bestimmte. Seither sind diese Bestimmungen sehr häufig wiederholt worden, von Maraldi, Herschel, Schrötter, Beer und Mädler u. s. w., so daß jetzt die Rotationszeit von diesem Planeten bereits bis auf Bruchteile von Sekunden genau bekannt ist, wozu der Umstand wesentlich beitrug, daß man in Zeichnungen von Hooke und Huyghens aus den Jahren 1666 und 1672 mit Sicherheit einige der noch heute vorhandenen Flecke wiedererkennen kann (vgl. I, § 87). Zur Erläuterung des eben Gesagten seien hier einige der vertrauenswürdigsten Bestimmungen dieser Größe aus der neueren Zeit zusammengestellt. So beträgt die Rotationszeit von Mars:

nach R. Wolf und Linsser:	$24^h\ 37^m\ 22{\cdot}9^s$
= Kayser:	22·62
= J. Schmidt:	22·60
= Proctor:	22·72
= Marth:	22·63
= Backhuyzen:	22·66
= Wislicenus:	22·65

Die Dauer der Rotation des Planeten dürfte daher von $24^h\ 37^m\ 22{\cdot}65^s$ kaum um mehr als einige Hundertteile einer Sekunde abweichen.

§ 60. (Tages- und Jahreszeiten auf Mars.) Da Mars, wie wir soeben gesehen haben, um seine Achse in einer Zeit rotiert, die nur etwas mehr als eine halbe Stunde länger ist, als die Dauer der Rotation unserer Erde, sind die Tageszeiten auf beiden Planeten sehr nahe gleich. Diese Ähnlichkeit erstreckt sich aber

auch auf die Jahreszeiten, da die Neigung der Rotationsachse von Mars gegen seine Bahnebene ebenfalls nahezu eben so groß ist, wie die der Rotationsachse der Erde gegen die Ekliptik.

Der erste Versuch, die Lage dieser Rotationsachse zu ermitteln, wurde bereits von Maraldi gemacht und hierauf von W. Herschel wiederholt, welcher letztere aus seinen Beobachtungen für die Neigung des Marsäquators gegen seine Bahn 28° 42′ folgerte. Neuere Untersuchungen, insbesondere die von Schiaparelli, haben aber diesen Winkel auf 24° 52′ herabgesetzt, so daß er die Neigung unseres Äquators gegen die Ekliptik nur um die ganz belanglose Größe von 1·5° übertrifft. Infolgedessen werden auf diesem Planeten nicht nur die Jahreszeiten einen ähnlichen Verlauf nehmen, wie bei uns, sondern es wird auch die Verteilung der heißen, gemäßigten und kalten Zone (I, § 34) auf seiner Oberfläche sich ganz ähnlich wie bei uns gestalten. Trotzdem mangelt es nicht an sehr beachtenswerten Verschiedenheiten.

In dieser Beziehung ist zunächst zu bemerken, daß die Umlaufszeit des Mars um die Sonne d. h. sein Jahr, sich auf rund 687 Tage beläuft, also nahezu die doppelte Länge unseres Jahres besitzt, weshalb auch seine Jahreszeiten im Durchschnitte doppelt so lange dauern als die unsrigen. Einen noch wesentlicheren Unterschied bedingt aber die bedeutende Excentricität seiner Bahn, vermöge welcher je nach der Lage der Apsidenlinie gegen die Solstitial- und Äquinoktiallinie die Dauer der einzelnen Jahreszeiten weit stärker variieren und in ihrer gegenseitigen Länge weit verschiedener werden kann, als bei der Erde (vgl. I, §§ 91, 92). In unseren Tagen nun liegt die Apsidenlinie der Marsbahn ähnlich wie die der Erdbahn: es dauern daher auch bei ihm auf der nördlichen Halbkugel die beiden wärmeren Jahreszeiten (Frühjahr und Sommer) länger als die beiden kälteren (Herbst und Winter). Es dauert nämlich, die Jahreszeiten so gezählt, wie wir es zu thun pflegen, auf der nördlichen Halbkugel des Mars:

	Erden-Tage	Mars-Tage
das Frühjahr . . .	199·6	194
der Sommer . . .	181·7	176
der Herbst	145·6	142
der Winter. . . .	160·1	156

Frühjahr und Sommer zusammen 381·3 Erden- = 370 Marstage,
Herbst und Winter = 305·7 = = 298 =

Während also auf der nördlichen Halbkugel der Erde Frühjahr und Sommer (I, § 92) zusammen 186·5 Tage, Herbst und Winter 178·8 Tage betragen, die beiden ersten Jahreszeiten also nur um 7·7 Tage länger sind als die letzten, steigt dieser Unterschied bei Mars, in Erden-Tagen ausgedrückt, auf 75·6 Tage, oder $2^1/_2$ Monate. Auf der südlichen Halbkugel findet natürlich das umgekehrte statt: auf derselben dauert Herbst und Winter länger als Frühjahr und Sommer, und speziell der Winter 21·6 Tage länger als der Sommer. Übrigens fällt auch bei

diesem Planeten, ebenso wie bei der Erde der Periheldurchgang in die Sommermonate der südlichen Halbkugel, so daß diese auf Mars, gleichwie bei uns zwar kürzere, dafür aber heißere Sommer hat als die nördliche, nur mit dem Unterschiede, daß dort die Temperaturdifferenz zwischen beiden Halbkugeln wegen der großen Excentricität der Marsbahn viel erheblicher ist als hier. Die Periheldistanz der Marsbahn verhält sich nämlich zur Apheldistanz (§ 58) nahezu wie 5 zu 6, und da Erleuchtung und Erwärmung dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional sich ändern, empfängt während eines Tages im Hochsommer die nördliche Halbkugel des Mars etwa nur 0·7 der Wärmemenge von der Sonne, wie die südliche: die südliche Halbkugel wird daher trotz der kürzeren Dauer ihrer Sommer während dieser Jahreszeit eine erheblich größere Wärme aufweisen als die nördliche, während umgekehrt die Winter auf der ersteren nicht nur länger dauern, sondern wegen der größeren Entfernung der Sonne auch kälter sind als auf der letzteren. Die Temperaturdifferenz zwischen beiden Halbkugeln muß daher auf Mars viel merkbarer sein, als bei uns.

§ 61. (Topographie des Mars.) Es wurde schon oben (§ 59) erwähnt, daß die Flecken des Mars zum Teil eine rötliche, zum Teil eine grünlich-blaue Färbung aufweisen. Die ersteren hält man sehr allgemein für das Festland, die letzteren für Seeen oder Meere des Planeten. Die Astronomen der Lick-Sternwarte hingegen, insbesondere aber Schäberle, haben in der jüngsten Zeit die Ansicht ausgesprochen, daß umgekehrt die grünlich bis blau gefärbten Partieen als die helleren das Festland, und die rötlichen die Meere des Mars seien, und stützen sich dabei auf die Wahrnehmung, daß von der Höhe des Mount Hamilton aus, auf dessen Gipfel bekanntlich die Sternwarte erbaut ist, die Bay von San Francisko, namentlich sobald sie von der Sonne beschienen wird, stets heller erscheint, als die gegenüberliegende Landschaft. Dem gegenüber ist jedoch zu bemerken, daß eine Wasserfläche, besonders eine bewegte, wohl nur dann heller erscheint, als sagen wir eine Fläche lichten Sandes, wenn die Sonne so steht, daß nicht bloß zerstreutes, sondern auch viel regelmäßig reflektiertes Licht in das Auge des Beobachters gelangen kann. In solchen Beleuchtungsverhältnissen befindet sich aber Mars der Erde gegenüber nicht; außerdem ist auch nicht zu übersehen, daß die Gegend um Mount Hamilton dicht bewaldet, es daher ganz natürlich ist, daß das Land dunkler erscheint. Wir glauben daher, daß wenigstens vorläufig kein genügender Grund vorliegt, die sonst allgemein adoptierte Annahme zu verlassen, daß die hellen roten Flecken unseren Festländern und die dunklen blaugrünen unseren Meeren entsprechen.

Zu den interessantesten Gebilden auf diesem Planeten gehören indes unstreitig die 1716 von Maraldi zuerst wahrgenommenen weißen, ziemlich unregelmäßig geformten Flecken in der Nähe der Pole, welche am größten und hellsten sind, wenn der betreffende Pol eben aus der langen Nacht seines Polarwinters heraustritt und desto mehr sich verkleinern, je tiefer sie in den Sommer

hineinrücken, d. h. je länger sie den Sonnenstrahlen ausgesetzt sind. Es drängt sich daher unwillkürlich die Ansicht auf, daß wir in diesen Polarflecken Bildungen vor uns sehen, die den Eisregionen um unsere Pole ganz analog sind, und dies umsomehr, als ebenso wie auf der Erde, auch auf Mars das Centrum derselben nicht mit den geometrischen Polen zusammenfällt, was besonders auffällig auf der südlichen Halbkugel hervortritt, wo die Mitte des hellen Flecken etwa 5° vom Pole absteht. Diese Polarkappen scheinen übrigens über die eigentliche Kugel des Planeten hervorzutreten, aber nur infolge der optischen Täuschung, nach welcher wir den beleuchteten Teil des Mondes ebenfalls als das Segment einer größeren Kugel zu sehen glauben, wie den übrigen dunkeln Teil. (I, § 112).

Nach den ausgedehnten Studien, die am Ende des vorigen Jahrhunderts Schröter in Lilienthal, gleichwie an den anderen Planeten unseres Sonnensystems, so auch an Mars anstellte, wurde unsere Kenntnis von der Oberflächen-Beschaffenheit desselben in keinem wesentlichen Punkte gefördert, bis es 1840 Beer und Mädler nach zehnjährigen Bemühungen gelang, eine bereits viel Details enthaltende Marskarte herzustellen, in welcher zum ersten Male die gegenseitige Lage einiger Hauptflecken des Planeten nicht mehr bloß dem Augenmaße nach, sondern nach Messungen festgelegt worden war. Hierauf verstrichen wieder nahezu zwei Decennien, während welcher keine erheblichen Fortschritte in der Topographie des Mars zu verzeichnen sind, bis Secchi 1858 durch ein sorgfältiges Studium der Farbennuancen der Flecken die Aufmerksamkeit der Astronomen der Art auf diesen Planeten lenkte, daß sich von nun an eine Reihe der ausgezeichnetsten Beobachter, wie Lockyer, Kaiser, Dawes, J. Schmidt, Flammarion, Proctor, Green, Terby u. a. eingehend mit ihm beschäftigte. In dieser Zeit führte auch 1867 Proctor zur einfacheren Charakterisierung und Beschreibung der verschiedenen Regionen des Gestirnes eine systematische Nomenklatur ein, nachdem bereits Secchi einige besonders auffällige dieser Regionen mit einem Namen versehen hatte. Proctor nahm sich dabei die auf unseren Mondkarten herrschende Nomenklatur (§ 48, Note) zum Muster, indem er die einzelnen Flecken nach berühmten Astronomen benannte. Dabei bevorzugte er zweckmäßiger Weise jene, welche sich um die Erforschung des Planeten verdient gemacht haben, wobei jedoch seine Landsleute den Löwenanteil davontrugen. Diese Nomenklatur wurde zunächst, allerdings mit mancherlei Modifikationen von den Areographen angenommen und von Flammarion, Green u. a. vervollständigt. Zehn Jahre später schlug aber Schiaparelli eine andere vor, in welcher die Namen der Marsflecke der alten, zum Teile auch der mythischen Geographie entnommen sind. Diese Nomenklatur hat sich nach und nach allgemein eingebürgert, und die frühere so gut wie vollständig verdrängt, so daß sich in dieser Beziehung bei Mars gerade der umgekehrte Prozeß wie bei unserem Monde vollzogen hat.

Eine ganz neue Epoche in unserer Erkenntnis dieses Planeten wurde aber

im Jahre 1877 inauguriert, als der obengenannte Forscher Schiaparelli in Mailand, durch ein für solche Beobachtungen ganz außergewöhnlich scharfes Auge und Italiens klaren Himmel unterstützt, sich der Erforschung seiner Oberflächen-Beschaffenheit widmete, welche er seither bei jeder Opposition des Gestirnes mit rastlosem Eifer und staunenswertem Erfolge fortgeführt hat. Nach dessen trefflichen Zeichnungen aus 1877 ist Tafel V entworfen, welche den Anblick des Mars in einem starken Fernrohre veranschaulicht, und ein Bild des Planeten zu zwei um eine halbe Rotationsdauer auseinanderliegenden Zeiten, giebt, sodaß beide zusammen seine ganze damals sichtbare Oberfläche darstellen. Ein Blick auf dieselbe genügt, zu erkennen, daß die blaugrünen Partieen auf der oberen, also, da das Fernrohr umkehrt, thatsächlich unteren, d. h. südlichen Halbkugel weit ausgedehnter und ausgebreiteter sind, als auf der nördlichen. Betrachtet man daher mit der überwiegenden Mehrzahl der Astronomen die blaugrünen Partieen als Flüssigkeitsansammlungen, die rötlichen als Continente, so besteht zwischen Erde und Mars die weitere Analogie, daß auch auf ihm die südliche Halbkugel an ausgedehnten Oceanen weitaus reicher ist als die nördliche. Damit hört aber auch die Analogie auf, indem außer dem großen südlichen Oceane, welcher $^1/_3$ der Marsoberfläche bedeckt, der übrige Teil der Scheibe bis zum Nordpole von Festländern eingenommen wird, die nur durch verhältnißmäßig geringe Flüssigkeitsmassen getrennt sind. Übrigens haben weder die rötlichen noch auch die blaugrünen Partieen durchweg ein gleiches Colorit: es steigert sich im Gegenteil in den ersteren von der allgemein vorherrschenden orangen Färbung hin und wieder bis hellrot, sinkt aber stellenweise auf gelb und weißlich herab, während es sich in den ersteren von einer tief dunkeln Farbe bis zu einem lichten Grau und mattem Braun abstuft. Diese Färbung ist überdies keineswegs konstant, sondern vielfachem Wechsel unterworfen.

Die rätselhaftesten Bildungen auf der Oberfläche des Mars sind aber jene, welche als zarte feine Streifen von mehr weniger dunkler Farbe die Continente geradlinig durchschneiden. Die kürzesten davon haben eine Länge von etwa 500 km, während andere eine solche von mehreren Tausend erreichen, und einzelne sogar ein Viertel, ja selbst ein Drittel des Umfanges des Planeten umspannen. Schiaparelli hat diese Gebilde mit dem Namen Kanäle belegt, ohne aber damit etwas über die Natur derselben aussagen oder gar andeuten zu wollen, daß dieselben etwas unseren künstlich angelegten, gleichnamigen Wasserstraßen analoges seien. In diesem Sinne wollen auch wir den Namen beibehalten.

Einen und den anderen dieser sogenannten Kanäle haben schon Mädler und Dawes wahrgenommen, aber nur auf kurze Strecken verfolgen können, weshalb sie die eigentümliche Struktur derselben nicht erkannten. Daß aber die Oberfläche des Mars von einem ganzen Netze zahlreicher solcher Kanäle durchzogen sei, haben uns erst die Untersuchungen Schiaparellis gelehrt, da die meisten derselben bloß eine Breite von 30 bis 40 km besitzen, daher an der

äußersten Grenze der Sichtbarkeit stehen, und nur ungemein feinen, über die Scheibe gespannten Spinnenfäden gleichen.

Die Kanäle münden sämtlich in ein Meer oder in einen Binnensee; auch durchschneiden sich häufig mehrere, stellenweise bis zu 6, ja sogar 8 in ein und demselben Punkte, und bilden dort größere dunkle Flecke, wie dies die unten stehenden Holzschnitte (Fig. 56, 57) zeigen. Zur Erläuterung derselben sei zunächst bemerkt, daß sie nicht so orientiert sind wie die Bilder auf Tafel V, sondern daß sich hier der Centralmeridian des oberen Bildes am rechten Rande, der des unteren am linken befindet, mit anderen Worten, daß sie eine um 90° verschiedene Rotationsphase darstellen, und daß in der auf ihnen sichtbaren Halbkugel des Mars alle bisher erkannten Kanäle eingezeichnet sind. Von diesen Kanälen sind aber nie alle zugleich, sondern in der Regel nur einige wenige wahrnehmbar, denn das Aussehen und die Sichtbarkeit derselben wechselt für alle sehr bedeutend, und zwar bereits innerhalb weniger Tage, und findet nicht gleichzeitig für alle statt, sondern es werden häufig einzelne davon undeutlich und ganz unsichtbar, während andere in ihrer Nachbarschaft so an Intensität gewinnen, daß sie sogar in Fernrohren von mäßiger Kraft sichtbar werden. Es sind daher diese Holzschnitte mehr weniger bloß als schematische Figuren zu betrachten, indem sie nicht so sehr das darstellen, was man gleichzeitig auf Mars sehen kann, sondern alles das, was man während einer langen Reihe von Jahren mühsamer Beobachtung auf seiner Oberfläche an Detail aufgefunden hat. Dies ist, bei der Reproduktion ähnlicher Abbildungen wenigstens, in populären Darstellungen bisher nie entsprechend hervorgehoben worden; ein Umstand, der vielfach zu ganz irrigen Ansichten und Interpretationen der Marsforschungen der neuesten Zeit Veranlassung gegeben hat.

Seit dem Jahre 1877 hat Schiaparelli die Aufmerksamkeit der Marsbeobachter wiederholt auf das zeitweilige Erscheinen von hellglänzenden Punkten an einzelnen Stellen der Oberfläche des Planeten aufmerksam gemacht und als Gegenden, in denen er sie besonders auffallend bemerkte, unter anderem auf der nördlichen Halbkugel, die beiden von ihm als Elysium und Tempe bezeichneten Gebiete genannt, deren letzteres auf Tafel V links, unterhalb der Mitte des oberen Bildes sich befindet, und durch das links oben in dasselbe hineinragende kleine Binnenmeer kenntlich ist. Diese hellen Punkte werden aber in der Regel erst auffallend, wenn sie durch die Rotation des Planeten in die Nähe seines Randes gelangen, und verschwinden fast vollständig auf der Mitte der Scheibe. Ähnliche helle Punkte haben seit der Opposition des Mars von 1888 auch Terby und die Astronomen der Lick-Sternwarte wahrgenommen: im Jahre 1890 gelang es aber den letzteren und wenige Wochen vorher Perottin in Nizza, an der Beleuchtungsgrenze (§ 58) auch helle Punkte und Linien wahrzunehmen, welche in die Nachtseite des Planeten hineinragten, und in ihrer Erscheinung ganz an die Spitzen der Berge und Krater des Mondes erinnerten, wenn die-

selben außerhalb der Beleuchtungsgrenze sichtbar zu werden beginnen. Sorgfältige Skizzen, welche am 5. und 6. Juli 1890 auf der Lick-Sternwarte von diesen Projektionen entworfen wurden, zeigen sie in der Gestalt von hellen weißen elliptischen Flächen von 1·5″ bis 2″ Durchmesser, welche mit einer geringen Neigung gegen die Beleuchtungsgrenze nach abwärts über dieselbe hinausragen. Sie zeigten sich mehrere Tage hindurch an derselben Stelle des Mars, die den Rechnungen von Campbell zufolge an der Grenze des Gebietes Tempe lag, wo, wie oben erwähnt ist, Schiaparelli wiederholt helle Punkte, allerdings nie jenseits der Beleuchtungsgrenze, bemerkt hatte. Die hellen Projektionen in die Nachtseite, die bereits im Juni 1890 Perottin gesehen, und die dann von Mitte Juli bis Anfang August auch einigen Beobachtern der Lick-Sternwarte sich zeigten, befinden sich auf der Südhalbkugel des Planeten in jener Gegend, die auf Schiaparelli's Karten als Noachis bezeichnet wird. Campbell schließt aus diesen Beobachtungen, daß die Projektionen Bergketten seien, welche in einer auf die Beleuchtungsgrenze nahezu senkrechten Richtung hinstreichen, und berechnet, daß sie nur die mäßige Höhe von etwa 3000 m zu haben brauchen, um in der Art und Entfernung von der Lichtgrenze sichtbar zu werden, wie sie thatsächlich gesehen wurden. Bei der letzten Opposition in 1894 hat man namentlich auf der Lick-Sternwarte diesen Projektionen eine besondere Aufmerksamkeit zugewendet und dort deren auch wiederholt mehrere gesehen und gemessen. Die dabei gemachten Wahrnehmungen sprechen ebenfalls sehr zu Gunsten der Campbell'schen Hypothese, daß es Bergketten seien.

§ 62. (Veränderungen auf der Oberfläche des Mars.) Aus der Vergleichung früherer Marsbeobachtungen mit den jetzigen ergiebt sich die wichtige Thatsache (vgl. § 59), daß die Form und Verteilung der Marsflecken in ihren Hauptzügen unveränderlich ist. Diese Unveränderlichkeit ist aber keineswegs eine bis in das kleinste gehende, wie wir sie auf dem Monde bemerken: Mars ist kein starrer, toter Körper wie dieser, sondern es gehen zahlreiche Veränderungen auf ihm vor, die wohl einerseits das Studium seiner Oberflächengestaltung erschweren, demselben aber andererseits auch einen eigenen Reiz verleihen.

Unter diesen Veränderungen sind zuerst periodisch wiederkehrende hervorzuheben, welche von den Jahreszeiten auf Mars stammen. Die auffälligste dieser haben wir bereits berührt: es ist die periodische Vergrößerung und Verkleinerung der Polarflecken, die bei einiger Aufmerksamkeit bereits in Fernrohren von sehr mäßiger optischer Kraft bemerkt wird und in der That auch schon von W. Herschel im Jahre 1783 aufgefunden wurde. Besonderes Interesse aber gewährt es, das Abschmelzen der Polarkappen in einem starken Fernrohre zu verfolgen, in dem man auch die kleineren Einzelheiten des Vorganges wahrnehmen kann. Die weißen Felder beginnen zuerst an ihren Rändern sich auszufransen; dann treten in ihrem Inneren dunkle Öffnungen und mächtige Risse auf; endlich trennen sich große Partieen von der Hauptmasse ab, lösen sich all-

mählich auf und verschwinden binnen Kurzem vollständig: mit einem Worte, es zeigen sich ganz ähnliche Erscheinungen wie in unsern arktischen Regionen.

Die Polarflecke sind am ausgedehntesten 3 bis 4 Monate nach dem Wintersolstize des betreffenden Poles und reichen dann bis zum 65° bis 70° areographischer Breite herab. Beim Herannahen des Sommers und während desselben geht das Abschmelzen der Flecke aber viel rascher vor sich und erfolgt in einem viel vollständigeren Maße als das Abschmelzen des Polareises auf der Erde. So wird jeden Sommer die Ausdehnung des mitten im großen südlichen Ocean liegenden Polarfleckes so weit reduziert, daß wegen seiner stark excentrischen Lage der Südpol stets frei wird: ja in manchen Jahren, wie während der eben verflossenen Opposition, innerhalb welcher das Sommersolstiz der südlichen Halbkugel fiel, verschwindet dieser Polarfleck sogar vollständig.

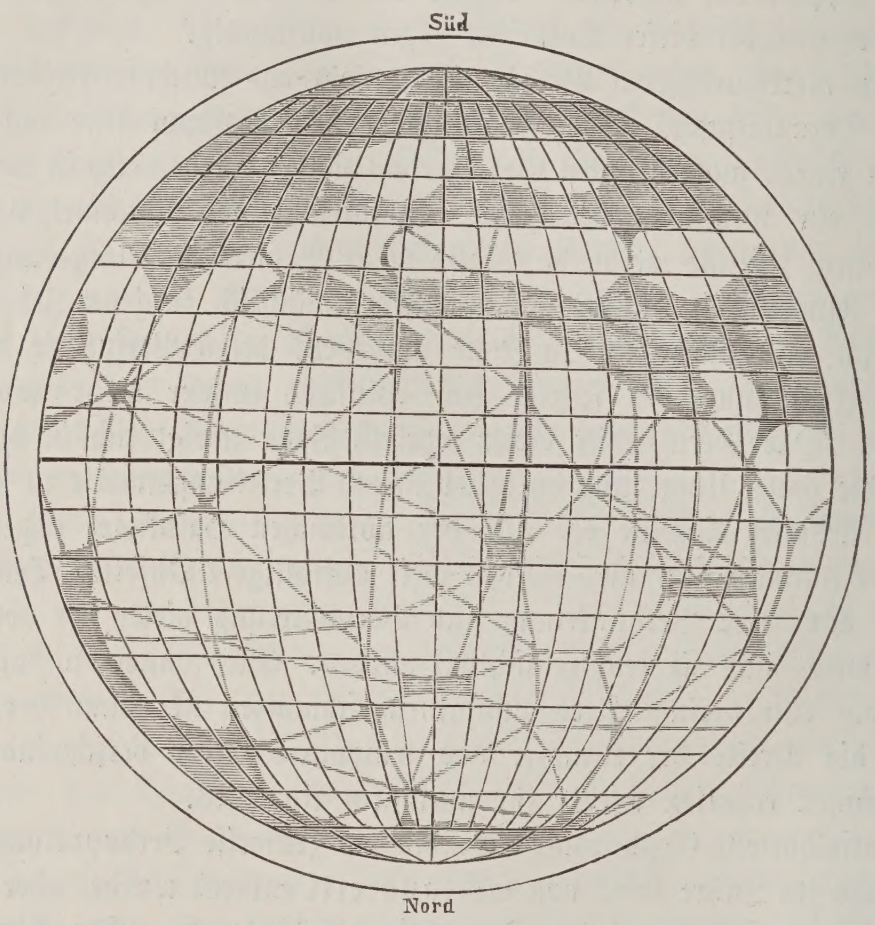
Zu noch merkwürdigeren Verhältnissen giebt das Abschmelzen der nördlichen Polarkappe Veranlassung. Dieselbe umgiebt den Nordpol sehr nahe centrisch, und liegt in einem ausgedehnten Gebiete von gelber Farbe, also in einem solchen, das wir als ein Kontinent betrachten. Während ihres Abschmelzens überflutet nun die dadurch flüssige werdende Masse weite Gebiete der Umgebung, und verwandelt sie zeitweilig in ein Meer. Wir sehen nämlich zu jener Zeit den weißen Polarfleck sich mit einer dunkeln Zone umgeben, deren Peripherie bei der progressiven Verkleinerung des Fleckes sich ebenfalls immer mehr und mehr zusammenzieht. Das Grenzgebiet dieser dunkeln Zone zweigt sich in dunkle Linien ab, welche die ganze Umgebung durchziehen und Verteilungskanäle zu sein scheinen. Gleichzeitig nehmen einzelne der auf der nördlichen Halbkugel liegenden Seeen eine dunklere Färbung an, und werden weit auffälligere Objekte. Hand in Hand damit geht auch eine Verdunkelung und Verbreiterung vieler der obengenannten Kanäle, wodurch auch sie leichter sichtbar werden. Dies dauert so lange, bis der Polarfleck auf eine geringe Area zusammengeschmolzen ist: dann vermindert sich neuerdings die Breite der Kanäle, das temporäre Meer verschwindet, und die gelben Regionen erhalten wieder ihr normales Aussehen.

Die rätselhafteste Erscheinung ist aber die zeitweise Verdoppelung der Marskanäle, welche im Jahre 1882 von Schiaparelli entdeckt wurde, aber so schwierig zu sehen ist, daß es mehrere Oppositionen hindurch außer dem Entdecker niemanden gelang sie wahrzunehmen, weshalb sie mehrere Jahre hindurch vielfach bezweifelt, und das ganze Phänomen sogar bloß als eine optische Illusion betrachtet wurde.

Die Verdoppelung der Marskanäle scheint in der Regel zur Zeit der Äquinoktien einzutreten, d. h. in den Monaten, welche der großen nördlichen Überschwemmung vorhergehen und folgen, und vollzieht sich stets sehr rasch, oft sogar vielleicht in wenigen Stunden. Dabei wird der betreffende Kanal seiner ganzen Länge nach in zwei, durchweg gleich breite dunkle Streifen umgewandelt, die einander sehr nahe parallel laufen. Einer dieser Streifen lagert sich zu-

weilen fast vollständig auf den ursprünglichen Kanal, der andere nebenan: in der Regel aber liegen beide Streifen außerhalb, rechts und links, durchziehen also vollständig andere Gebiete. Die Entfernung der beiden Streifen ist bei der Verdoppelung verschiedener Kanäle sehr verschieden; sie wechselt von etwa 600 km bis zur äußersten Grenze des Trennungsvermögens unserer Fernrohre, d. i. etwa 50 km; ebenso schwankt auch die Breite der Streifen zwischen 30 bis 100 km. Der zwischen beiden eingeschlossene Raum hat meistens eine gelbe, zuweilen auch eine weißliche Färbung. Die Verdoppelung tritt nicht gleichzeitig bei allen Kanälen ein, sondern bald bei diesem, bald bei jenem, wie es scheint in einer ganz

Fig. 56.



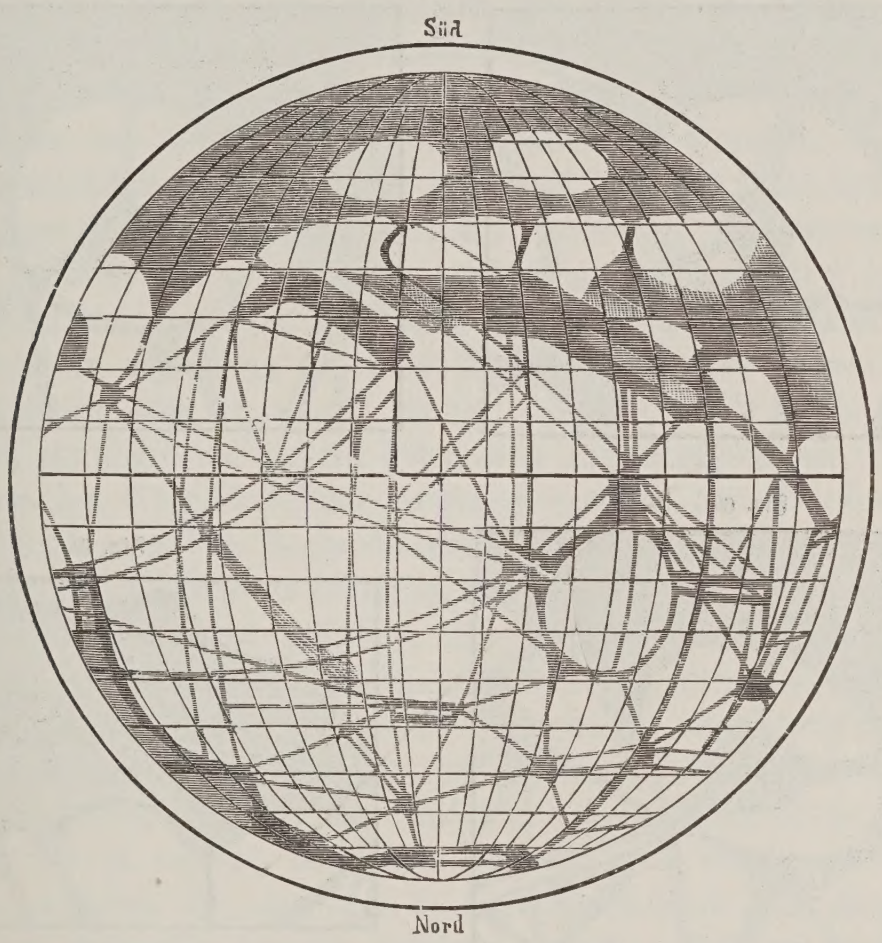
unregelmäßigen Weise; auch ist sie mindestens bisher nicht an allen beobachtet worden. Nachdem sie einige Monate gedauert, verblassen die beiden Streifen allmählich und verschwinden endlich. Die obenstehenden Holzschnitte (Figur 56 und 57) zeigen die auf der einen Hälfte des Mars befindlichen Kanäle in ihrer gewöhnlichen Form (Fig. 56) und verdoppelt (Fig. 57), wobei jedoch nochmals hervorgehoben werden mag, daß sie keine Bilder von Mars sind, wie er zu irgend einer Zeit wirklich erschien, sondern daß auf ihnen alle bisher erkannten Kanäle und Verdoppelungen solcher zusammengetragen sind.

Der Vollständigkeit wegen möge noch erwähnt werden, daß Schiaparelli

mehrmals selbst in, dem Marsäquator nahen, Gegenden kleine weiße, den Polarflecken ähnliche, vergängliche Flecken bemerkt hat, und daß außer ihm noch Perottin wiederholt ganze Länderstriche zeitweise viel weißer als gewöhnlich sah, gleichsam als ob frischer Schnee auf ihnen gefallen wäre.

Außer den hier geschilderten periodischen sind aber auf Mars auch bereits ganz erhebliche bleibende Änderungen nachgewiesen worden. Eine der bemerkenswertesten dieser hat sich am Sonnensee (Lacus solis) vollzogen, jener Landschaft, welche auf Tafel V im oberen Bilde auf der Mitte der Scheibe sich befindet. Die vier Holzschnitte Figur 58 bis 61 stellen diese Gegend dar, wie sie sich nach

Fig. 57.



sorgfältigen Zeichnungen von Schiaparelli während der Oppositionen der Jahre 1877, 1879, 1881, 1890 zeigte. Dazu muß noch bemerkt werden, daß Schiaparelli dieser Gegend bereits 1877 eine besondere Aufmerksamkeit und Sorgfalt zuwendete, weil schon damals seine Zeichnungen derselben von denen, die Dawes, Lockyer und Kaiser 1862 und 1864 entworfen hatten, erheblich abwichen. Ein einziger Blick auf dieselben genügt zu erkennen, daß hier gewaltige Änderungen vorgefallen sein müssen. So war 1877 der innere See rund, und nur durch zwei Arme mit dem umliegenden Meere verbunden. Im Jahre 1879 hatte sich ein dritter Arm hinzugesellt, und 1881 der See eine birnenförmige

Gestalt angenommen. Im Jahre 1890 endlich waren noch zwei weitere Verbindungskanäle hinzugetreten: der See hatte sich aber in zwei Teile gespalten, von allen übrigen Änderungen auch ganz abgesehen, welche die Umgebung aufweist. Die Farbe der ganzen inneren Partie hatte sich überdies zwischen 1881 und 1890 aus einem hellen Gelb in ein schmutziges Graugelb umgewandelt, gleichsam als ob die ganze Landschaft sich versumpft hätte. Übrigens können solche Veränderungen nach dem was oben über die großen Überschwemmungen auf Mars gesagt wurde, nicht Wunder nehmen: sie sind im Gegenteile eine natürliche Folge davon.

Fig. 58.

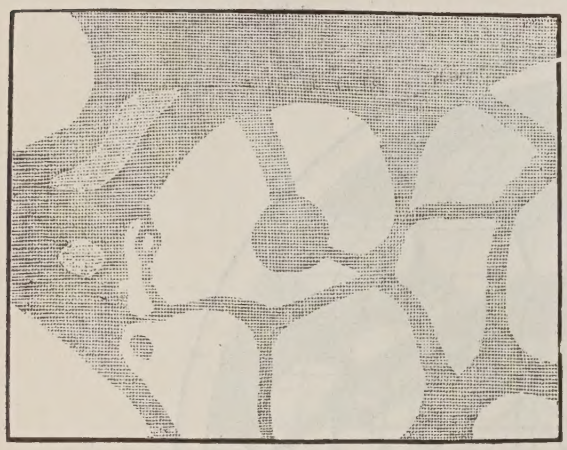


Fig. 59.

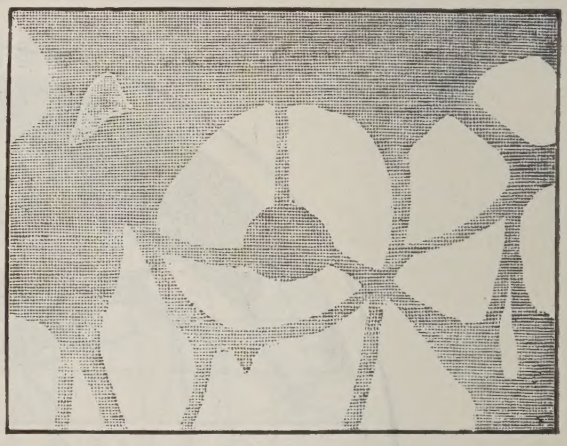


Fig. 60.

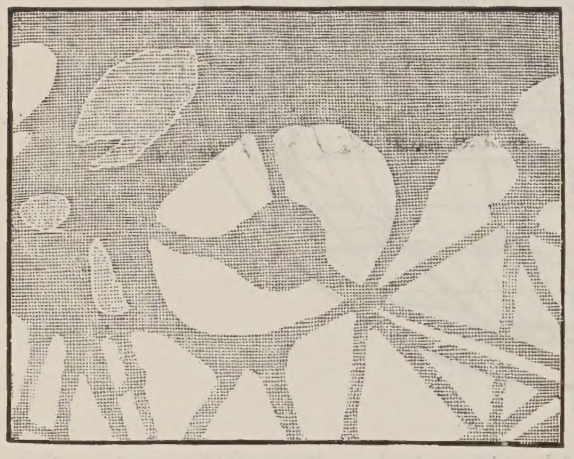
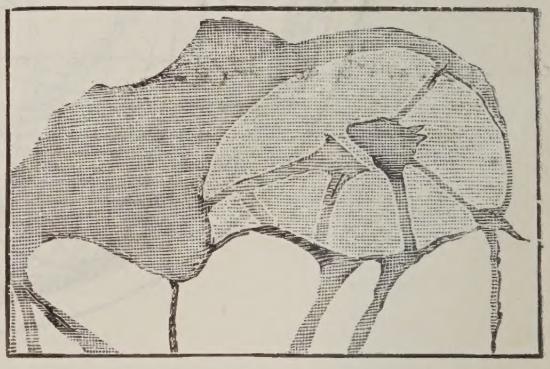


Fig. 61.



§ 63. (Atmosphäre des Mars.) Cassini und Römer glaubten bemerkt zu haben, daß kleine Fixsterne, wenn Mars ihnen näher rückte, allmählich dunkler würden und endlich ganz verschwänden, noch ehe sie den eigentlichen Rand des Planeten erreichten. Daraus schlossen schon sie auf das Vorhandensein einer und zwar sehr starken Atmosphäre dieses Planeten und die späteren Astronomen stimmten ihnen umso unbedenklicher darin zu, als man das periodische Wachsen und Abnehmen der Polarflecken erkannte, und auch eine Erklärung für die rote Färbung des Gestirnes in einer Absorption des Lichtes in eben dieser Atmosphäre zu haben

vermeinte. Wohl widersprach der oben erwähnten Behauptung von Cassini und Römer die Beobachtung der Bedeckung eines Sternes 8. Größe am 28. November 1832 durch J. South, der weder beim Eintritte noch auch Austritte des Sternes eine vorherige Schwächung seines Lichtes bemerkte: dem entgegen sprachen aber Spektralbeobachtungen von J. C. Vogel, Huggins und Janssen wieder für eine von der unseren nicht sehr verschiedene und namentlich an Wasserdämpfen reiche Atmosphäre des Mars.

In diesem Stadium ruhte die Frage, bis vor kurzem neuerdings namentlich von Campbell und Schiaparelli mancherlei Bedenken gegen eine dichte Marsatmosphäre erhoben wurden. Man betonte in dieser Beziehung zunächst, daß beim Vorhandensein einer mächtigen Atmosphäre die Flecken des Mars, wenn sie durch die Rotation des Planeten aus der Mitte der Scheibe an den Rand rücken, wegen der Absorption in derselben matter und undeutlicher werden müßten, daß dies aber nie eintrete, sondern im Gegenteil die Flecken am Rande eher deutlicher werden. Ferner sind wohl auch auf Mars hin und wieder Verdunkelungen einzelner Landstriche beobachtet worden, die man aus atmosphärischen Trübungen erklären kann: daß aber ausgedehnte Länderstrecken je unsichtbar gewesen wären, wie dies für einen außerhalb der Erde befindlichen Beobachter zuweilen tage- ja wochenlang wegen der Wolkenbildungen in unserer Atmosphäre eintreten muß, ist noch nie bemerkt worden. Schiaparelli spricht daher direkt aus, daß es auf Mars nur äußerst selten, oder eher überhaupt nie regnen dürfte. Des Weiteren hat Campbell auch darauf hingewiesen, daß die oben erwähnten Spektralbeobachtungen das Vorhandensein einer an Wasserdampf reichen Atmosphäre des Mars keineswegs so zweifellos darthun, als man bisher annahm: man könne aus ihnen höchstens schließen, daß in seiner Atmosphäre Spuren von Wasserdampf sich vorfinden. Endlich darf man nicht vergessen, daß Mars ein viel kleinerer Himmelskörper als die Erde ist, daß er daher wahrscheinlich auch keine so ausgedehnte und mächtige Atmosphäre habe zurückhalten können, wie diese.

Aus allen diesen Überlegungen scheint mit einem hohen Grade von Wahrscheinlichkeit sich zu ergeben, daß Mars nur von einer verhältnismäßig dünnen Atmosphäre umgeben ist, die auch in ihrer Konstitution und chemischen Zusammensetzung wesentlich von der unsrigen abweicht. Erinnert man sich aber an das, was an einem anderen Orte (§ 39) über die Bedeutung der Atmosphären für die Temperaturverhältnisse auf der Oberfläche eines Planeten gesagt wurde, so kommt man zu der Ansicht, daß auf Mars weitaus grellere Temperaturkontraste vorhanden sein dürften, als auf unserer Erde, und daß insbesondere die Temperatur seiner Polargegenden während ihrer langen Nächte nahezu auf die des Weltraumes herabsinken muß, die jedenfalls sehr tief ist. Bei dieser Sachlage ist die Meinung Bretts, daß wir in den Polarkappen des Mars nicht Schneefelder, sondern Erstarrungsprodukte von Gasen oder Flüssigkeiten anderer Art, mit viel tieferem Gefrierpunkte, beispielsweise Erstarrungsprodukte der

Kohlensäure vor uns sehen, keineswegs so undenkbar, wie dies für den ersten Moment erscheint.

§ 64. (Bewohner des Mars.) Die Idee, die Gestirne mit intelligenten Wesen, mit Tieren und Pflanzen zu bevölkern, die man sich im allgemeinen unseren Organismen so ähnlich zu denken habe, wie ein Ei dem anderen, ist nicht neu: sie reicht im Gegenteile bis tief in das Altertum zurück. Doch ist alles was bisher darüber geschrieben wurde, von Cicero und Lucian von Samosate angefangen bis auf die neueste Zeit herab, höchstens als eine mehr oder weniger geistreiche Träumerei zu betrachten. Sehr richtig bemerkt nämlich in dieser Beziehung Secchi, daß es von einem sehr beschränkten Gesichtskreise zeuge, das ganze Universum nach dem Typus unseres winzigen, so zu sagen mikroskopischen Weltkörpers modellieren zu wollen, und daß es ganz und gar unphilosophisch sei, zu beanspruchen, alle Gestirne müssen in ähnlicher Weise bewohnt sein, wie unsere Erde, und das Leben überhaupt überall an dieselben Existenzbedingungen gebunden sein, wie bei uns. Solche Existenzbedingungen sind aber, so weit unsere Beobachtungen hierfür ein Urteil zu bilden gestatten, nur ausnahmsweise vorhanden. So sind die Sonne, die Fixsterne, die Nebelflecke und die Kometen alles Körper von einer solchen physikalischen Beschaffenheit, daß auf ihnen an ein dem unseren analoges organisches Leben gar nicht gedacht werden kann. Der Mond, der einzige Himmelskörper, der uns so nahe steht, daß wir mit dem bewaffneten Auge auf demselben noch Details von bloß wenigen hundert Metern (400 bis 500) Ausdehnung wahrnehmen können, ist, wie wir später sehen werden, eine Wüstenei voller schroffer, trockener Gebirge, bar aller Elemente, die zu einem organischen Leben notwendig sind. Bei Merkur bedingt die Gleichheit der Dauer seiner Rotation und Revolution Verhältnisse, welche mit den auf unserer Erde herrschenden schlechterdings nicht verglichen werden können, und bei Venus hat die, wie es scheint, beständig mit dichten Wolken verhängte Atmosphäre uns bisher jede genauere Erkenntnis ihrer Oberfläche verhüllt. Was endlich die äußeren Planeten, von Jupiter angefangen, betrifft, sind sie von der Sonne, der Quelle alles irdischen Lebens, schon so weit entfernt, daß sie für jene fernen Planeten nicht mehr die Bedeutung haben kann, wie für uns. Es erübrigt daher nur noch Mars, auf welchen sich das Interesse immer mehr konzentrierte, seitdem vor nunmehr 110 Jahren W. Herschel beim Auffinden des periodischen Wachsens und Vergehens der Polarflecke die Meinung aussprach, daß seine Bewohner sich wahrscheinlich einer der unseren in vielfacher Hinsicht ähnlichen Situation erfreuen. Als nun in unseren Tagen Schiaparelli überdies in den Kanälen desselben uns ein ganzes System rätselhafter Konfigurationen kennen lehrte, die wegen der geometrischen Regelmäßigkeit, mit der sie auf seiner Oberfläche verlaufen, in der That eher den Eindruck von Werken intelligenter Wesen als Produkten unorganischer Naturkräfte hervorbringen, wurden diese Kanäle von populären Schriftstellern, Flammarion an der Spitze, ohne weiteres als zweifellose Riesen-

bauten der Marsbewohner erklärt, und dadurch die Hoffnung, mit seinen Bewohnern in einen Verkehr treten zu können, zu einer so fieberhaften Exaltation gesteigert, daß von mehreren Seiten in allem Ernste große Summen für jenen als Prämien ausgesetzt wurden, der durch direkte Beobachtungen sichere Anzeichen vom Dasein intelligenter Wesen auf irgend einem Himmelskörper nachweisen würde. Um die Bedeutung einer solchen Forderung klar hervortreten zu lassen, brauchen wir nur darauf hinzuweisen, daß selbst die größten Städte der Erde, wie Paris und London noch viel zu klein sind, als daß man selbst mit unseren besten Fernrohren eine Spur von ihnen wahrnehmen könnte, wenn sie auf Mars versetzt würden. Erst eine rundliche Insel von der Größe von Majorka oder eine längliche von der Ausdehnung von Kreta oder Cypern könnten wir eben noch, aber auch nur bei sehr aufmerksamer Betrachtung erkennen. Es würden wohl auch die meisten jener, welche die Kanäle des Mars unbedingt für Werke seiner Bewohner erklären, in große Verlegenheit geraten, wenn sie angeben sollten, zu welchem Zwecke denn die Marsbewohner Wasserstraßen von mehreren tausend Kilometern Länge, in einer Breite von mindestens 30 km, die aber auch bis auf mehrere hundert steigt, angelegt haben? Anstatt uns also in unfruchtbaren Hypothesen zu ergehen, von denen die eine ebenso wahrscheinlich als die andere hingestellt werden kann, wollen wir lieber offen gestehen, daß wir über die Natur der Kanäle und den noch rätselhafteren Vorgang ihrer Verdoppelung erst von einer vielleicht noch fernen Zukunft nähere Aufschlüsse erhoffen können.

Nach dieser Abschweifung zu unserem eigentlichen Gegenstande, die Bewohner, oder richtiger gesagt, die Bewohnbarkeit von Mars zurückkehrend, kann nicht in Abrede gestellt werden, wie dies auch in den vorhergehenden Paragraphen wiederholt hervorgehoben worden, daß er in vielen Beziehungen eine größere Ähnlichkeit mit unserer Erde zeigt, als irgend ein anderer uns näher bekannter Himmelskörper. Wohl fehlt es auch nicht an erheblichen Unterschieden: die Sonne erwärmt und erleuchtet ihn wegen ihrer größeren Entfernung nicht unbedeutend weniger als die Erde; wegen der längeren Dauer seiner Jahreszeiten und der größeren Excentricität seiner Bahn sind auf seiner Oberfläche die Extreme der Temperatur und der Klimate jedenfalls weit stärker ausgeprägt als bei uns, u. s. w. Bedenkt man aber das große Akkommodationsvermögen unserer organischen Wesen, das sie befähigt, sich nicht nur unter der sengenden Glut der Tropensonne, sondern auch in der alles erstarrenden Kälte der arktischen Regionen ihres Daseins zu erfreuen, so kann man diese Unterschiede kaum für so wesentlich betrachten, daß sie die Entwickelung eines, dem unsrigen ähnlichen organischen Lebens auf Mars hätten unmöglich machen können. Ein viel schwerer wiegendes Moment hingegen ist die große Verschiedenheit, die in der Konstitution zwischen der Atmosphäre des Mars und der der Erde herrscht; diese dürfte auf ihm ganz andere Lebensformen bedingen, wie hernieden auf unserer Erde.

Kapitel VI.

Asteroiden.

§ 65. (Merkwürdige Reihe in den Entfernungen der Planeten.) Wenn man die mittleren Distanzen der älteren Planeten von der Sonne näher betrachtet, so findet man zwischen Mars und Jupiter eine auffallend große Lücke, welche schon Kepler bemerkte. Bezeichnet man nämlich die mittlere Entfernung Merkurs von der Sonne mit 4, so kann man beiläufig für die der Venus 7, der Erde 10, des Mars 16, des Jupiter 52, des Saturn 100 und des Uranus 196 setzen. Diese Zahlen gehen nach einer bestimmten Reihe fort, die man gleich bemerkt, wenn man sie so schreibt:

Merkur	4				=	4
Venus	4	mehr	1 mal	3	=	7
Erde	4	=	2 =	3	=	10
Mars	4	=	4 =	3	=	16
Jupiter	4	=	16 =	3	=	52
Saturn	4	=	32 =	3	=	100
Uranus	4	=	64 =	3	=	196

Diese Reihe wird gewöhnlich das Bode'sche Gesetz genannt, obwohl schon viel früher Chr. Wolf, Titius u. a. auf dieselbe aufmerksam gemacht hatten. Die Zahlen 2, 4, 8, 16, 32 und 64 sind bekanntlich die sogenannte 1., 2., 3. . . . Potenz von 2. Von diesen Potenzen fehlt in der obigen Reihe die dritte oder die Zahl 8, und diese Lücke ist es, die den Astronomen bald auffiel und dieselben einen bisher unbekannten Planeten in dem großen Zwischenraume zwischen den Bahnen des Mars und Jupiter vermuten ließ, obschon die Zahlen jener Reihe nicht eben sehr genau sind, da sie eigentlich sein sollten: 4·0, 7·5, 10·3, 15·7, 53·7, 98·6 und 198·3. Man kann übrigens diese Reihe auch so stellen: Merkur 60, Venus 60 mehr 1 mal 40, Erde 60 mehr 2 mal 40 u. s. w., und erhält so die mittleren Entfernungen der Planeten von der Sonne genähert in Millionen Kilometer.

In neuerer Zeit wurden solcher Analogien, die möglicherweise dermaleinst ihre theoretische Begründung finden können, noch manche aufgestellt, so namentlich von Faust, Gaussin, Lackenbach, Roger, Troska u. a.

§ 66. (Entdeckung der ersten Asteroiden.) Wie beinahe in allen wichtigen Wendepunkten der Geschichte der Wissenschaften geht auch der Entdeckung der Asteroiden ein allgemeines Drängen auf dieses Ziel voran, indem man seit Kepler wiederholt auf den großen Zwischenraum zwischen Mars und Jupiter aufmerksam machte. So kommen, namentlich seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts verschiedene Astronomen, wie Chr. Wolf († 1754), Titius, Lambert, Zach, Wurm, Bode u. a. immer wieder darauf zurück, wobei man allerdings der Analogie

nach stets nur von einem Planeten sprach, der dort noch zu vermuten wäre. Trotzdem kann man hier nicht sagen, daß dieses Drängen unmittelbar zum Ziele führte, da die im Jahre 1800 eben begonnenen systematischen Bemühungen in dieser Richtung vom Zufalle überflügelt wurden.

Piazzi war nämlich seit geraumer Zeit mit einer Berichtigung der damaligen Sternverzeichnisse beschäftigt und beobachtete zu diesem Behufe an jedem heiteren Abende viele Fixsterne. Den 1. Jänner 1801, als er abends gegen 9 Uhr einen von La Caille katalogisierten Stern des Stieres aufsuchte, erblickte er einen anderen kleinen Stern, westlich von jenem und beobachtete beide vermeintliche Fixsterne, deren kleineren er 8. Größe taxierte, ohne irgend weiteren Argwohn zu schöpfen. Piazzi's löbliche Gewohnheit, jede erhaltene Position mehrere Male zu bestimmen, führte ihn am folgenden Abende auf dieselben beiden Sterne, und es zeigte sich, daß weder die gerade Aufsteigung noch die Abweichung des genannten Sternes mit der Beobachtung vom Tage vorher stimmte. Piazzi vermutete anfangs einen Fehler in seinen Notierungen, fand aber am 3. Jänner, daß vom 2. auf den 3. eine ganz ähnliche Änderung im Orte des neuen Gestirnes eingetreten war, wie vom 1. auf den 2., daß also dasselbe sich regelmäßig bewege; eine Bemerkung, die sich durch die Beobachtung am 4. Jänner bestätigte. Piazzi hätte nun gut gethan, seine Entdeckung sofort möglichst bekannt zu machen und zu Beobachtungen an anderen Orten aufzufordern, da er in Palermo mit den nötigen Hilfsmitteln zur möglichst langen Verfolgung des Planeten nicht versehen war. Doch unterließ er solche Anzeige, wahrscheinlich um auch die Ehre der ersten Berechnung sich zu sichern, und gab erst am 24. Jänner an Bode in Berlin und Oriani in Mailand Nachricht von seinem Funde, die vermöge der damaligen Posteinrichtungen auf dem Kontinente und wohl auch wegen des Krieges in den zwischenliegenden Ländern erst nach etwa 3 Monaten den Adressaten zuging. In Bezug auf die Natur des neuen Himmelskörpers schwankte Piazzi noch lange zwischen der Annahme eines eigentümlichen, aller Nebelhülle baren Kometen und eines kleinen Planeten, während Bode unmittelbar nach Empfang von Piazzis erster Meldung um die Mitte April in einem Briefe an Zach äußerte, daß die mitgeteilten Beobachtungen auf den längst geahnten Planeten zwischen Mars und Jupiter hindeuteten. Zach pflichtete ihm bei, und in ähnlicher Weise sprach sich Oriani aus. Der Planet war indessen der Sonne so nahe gerückt, daß man ihn selbst an solchen Sternwarten, wo man die Mittel besaß, ihn auch außer dem Meridian zu beobachten, nicht mehr wahrnehmen konnte, und man mußte sich mit den Beobachtungen Piazzi's allein (1. Jänner bis 11. Februar) begnügen. Es begannen nun die Versuche, sich des neuen Himmelskörpers zu versichern, d. h. seine Bahn so genau zu berechnen, daß man gewiß sein konnte, ihn, sobald er aus den Strahlen der Sonne treten würde, wieder aufzufinden, was Piazzi mit vollem Rechte für keine so ganz leichte Sache erklärte. Einstweilen gab er dem Gestirne, über dessen Natur

er noch immer im Zweifel war, für den Fall, daß es als ein bleibender Bewohner des Sonnensystems erkannt würde, den Namen „Ceres Ferdinandea" (das Epithet zu Ehren seines Königs), ein Vorschlag, gegen den sich später eine gewisse Opposition erhob von Seite Lalande's, der den neuen Planeten durchaus nach dem Entdecker genannt wissen wollte, und Laplace's, der Napoleons Wunsch nach dem schon früher vom Herzog von Gotha für einen neuen Planeten vorgeschlagenen Namen Juno (mit Bezug auf die Nachbarschaft Jupiters) geltend machte. Zach, eine der angesehensten damaligen astronomischen Autoritäten, entschied sich jedoch für den Namen Ceres und gab dem neuen Planeten nach seiner Wiederauffindung das sehr passende, daher auch bald allgemein eingeführte Zeichen ⚳ einer Sichel, an dessen Stelle aus weiter unten zu ersehenden Gründen später das Zeichen ① trat.

An die Wiederauffindung der Ceres knüpft sich aber ein Ruhm weit gewichtigerer Art als an ihre Entdeckung; denn diese war, wie wir oben gesehen haben, ein glücklicher Zufall gewesen, und in der That gründet sich Piazzi's bedeutender Name in der Wissenschaft auf ganz andere Verdienste, wenngleich Ceres ihn eigentlich in aller Welt Mund gebracht hat. Die Wiederauffindung nämlich erforderte einen Geometer ersten Ranges, da die Lehre von der Bahnbestimmung eines Himmelskörpers damals noch sehr im Argen lag. Kepler hatte, von Tycho's Beobachtungen unterstützt, zuerst die Bahnelemente der Planeten zu bestimmen gesucht, aber sich dabei des großen Vorteiles erfreut, daß ihm die Umlaufszeiten gegeben waren. Newton führte statt der Ellipse allgemein Kegelschnitte (Kreis, Ellipse, Parabel und Hyperbel) als mögliche Linien ein und änderte den Ausdruck des dritten Kepler'schen Gesetzes so ab, daß er auch auf nicht geschlossene Kurven und damit auf die Kometen anwendbar wurde. Indes war der Fortschritt, den man damit in der Theorie machte, nicht so groß, als er schien: denn die große Excentricität der Kometenbahnen, die kurzen, in der Nähe der Perihelien liegenden Stücke derselben, welche man allein beobachten kann, und die unvermeidlichen Beobachtungsfehler machten es damals und machen es selbst heute noch für erste Bahnbestimmungen möglich, die Parabel mit der Ellipse zu verwechseln. Bei der Parabel nimmt man aber bereits 2 Elemente als bekannt an, indem man die große Achse der Bahn unendlich groß und die Excentricität der Einheit gleich setzt. Der große Komet von 1759, der von seinem Berechner den Namen des Halley'schen erhielt, machte hiervon eine Ausnahme; aber auch hier wurde die Ellipse aus früheren Erscheinungen, also mit bekannter Umlaufszeit bestimmt. Einzelne Versuche, von der Parabel, die man einer ersten Bahnbestimmung zu Grunde gelegt, auf die Bahn überzugehen, in welcher der Himmelskörper sich eigentlich bewegt, blieben, mit einziger Ausnahme etwa des Kometen von 1770, fruchtlos, weil sie nur für geringe Abweichungen beider Linien von einander giltig waren. Bei Uranus (1781) zeigte sich die Unvereinbarkeit mit der Parabel zwar sogleich sehr auffallend; aber man

nahm die Bahn zuerst kreisförmig an und konnte, da dieselbe in der That nur sehr wenig excentrisch ist, die Ellipse leicht daraus ableiten. Seine bedeutende Lichtstärke, langsame Bewegung und geringe Neigung seiner Bahn gegen die Ekliptik erleichterten seine Wiederauffindung nach der Konjunktion mit der Sonne. An das eigentliche, durch die Entdeckung der Ceres sich mit einem Male aufdrängende Problem: Bestimmung der Bahn ohne Voraussetzung irgend einer krummen Linie aus Beobachtungen, die nur wenige Tage umfassen, hatte sich bis zum Anfange des 19. Jahrhunderts niemand gewagt, ja, die Lösung dieser Aufgabe ward von vielen Seiten für unmöglich gehalten. Man begreift unter solchen Umständen die ängstliche Spannung der damaligen Astronomen, die Furcht, daß der neue Fund ihnen unter den Händen entschlüpfen könnte. Der Weg, den Ceres während Piazzi's Beobachtungen beschrieben hatte, betrug kaum 3°; die alten Methoden reichten, das sah jeder Fachmann ein, nicht hin, das planetarische Atom wieder zu finden, das nach Jahresfrist den halben Himmel durchwandert haben konnte. Zum Glück hatte sich einer der größten Geister aller Jahrhunderte, Gauß, damals in Braunschweig und erst 24 Jahre alt, aber als Verfasser der „Disquisitiones arithmeticae" bereits weltberühmt, schon früher mit dem Probleme beschäftigt und seine betreffenden Arbeiten nur eben zur Seite gelegt, weil es an einer Anwendung fehlte. Die Gelegenheit, seine Ideen zur Reife zu bringen und einer alle Zweifel hebenden Probe zu unterwerfen, konnte ihm nicht schöner geboten werden als durch den eben entdeckten Planeten. Im Oktober 1801 ging er an die Rechnung und teilte bald darauf seine Resultate den Astronomen mit, ohne noch die Grundlage derselben bekannt zu geben. Die bis dahin unerhörte Übereinstimmung der von ihm berechneten Bahn mit den erhaltenen Beobachtungen weckte gerechtes Vertrauen in den Ort, den er dem Himmelskörper für seine nächste Sichtbarkeit zuwies, und Zach war in der ersten Nacht (7. Dezember 1801), die sich zur Aufsuchung eignete, den Angaben von Gauß folgend, wirklich so glücklich, den Fremdling wieder aufzufinden.

Ceres bezeichnet bei weitem die wichtigste Phase in der Geschichte der Entdeckung dieser Planetengruppe, und wenn irgendwo, konnte man hier sagen: „c'est le premier pas qui coûte", nicht sowohl, weil damit der erste Asteroid bekannt wurde, — denn daß man die Kenntnis einer ganzen Klasse von Himmelskörpern angetreten hatte, ahnte damals niemand, — sondern hauptsächlich, weil Gauß uns bei dieser Gelegenheit gelehrt hatte, uns solcher Funde zu versichern; denn ohne jenen höchst wichtigen Fortschritt wären diese und alle folgenden ähnlichen Entdeckungen in Gefahr gewesen, ebenso schnell wieder verloren zu gehen, als sie gemacht waren.

Gehen wir zur zweiten Asteroidenentdeckung, der der Pallas über, so muß vor allem die Vorsicht auffallen, mit welcher der berühmte Olbers die Nachricht des Fundes brachte, den ihm ein glückliches Ungefähr verschafft hatte. Er beobachtete am 28. März 1802 die Ceres und bemerkte ganz in ihrer Nähe einen

Stern 7. Größe, von dem er sicherlich wußte, daß er in diesem ihm sehr wohlbekannten Teile des Himmels früher nicht vorhanden war. Der Stern gab sich bald als ein bewegliches Gestirn kund, aber obschon die Verhältnisse in jeder Beziehung denen ähnlich waren, in welchen Ceres zuerst gefunden wurde, mühten der Entdecker und nach ihm andere Astronomen sich wieder vielfach mit Vermutungen über die Natur des neuen Gestirnes ab; die exzessive Neigung der Bahn gegen die Ekliptik ließ neuerdings an einen Kometen besonderer Art denken. Ein wahres Glück war es, daß Ceres bereits sicher bestimmt war, sonst hätte die Verwirrung noch dadurch steigen können, daß der zweite neu entdeckte Asteroid für eine Wiedererscheinung des ersten gehalten worden wäre. Es war wieder Gauß, der die Zweifel über die Natur des neuen Himmelskörpers zerstreute und zeigte, daß Pallas ein der Ceres ähnlicher Planet sei. Der Name wurde vom Entdecker gegeben und das Zeichen einer Lanze ⚴ von Zach vorgeschlagen.

Die Entdeckung der Pallas war maßgebend für die Ansichten, die man bisher über die Lücke des Planetensystems zwischen Mars und Jupiter gehegt. Während man früher einen Himmelskörper dort vermutete, drängte sich nun der Gedanke auf, daß vielleicht ihrer noch einige zu finden seien. W. Herschel, der von sonderbaren Ideen über das Wesen der neuen Gestirne sich nicht losmachen konnte und dieselben durchaus für keine eigentlichen Planeten, sondern für ein Mittelding zwischen Kometen und Planeten gehalten wissen wollte, schlug Sammelnamen für sie vor: zuerst Aorates, weil man dieselben mit freiem Auge nicht sehen kann, dann Asteroiden, ihres fixsternähnlichen Aussehens wegen. Letztere Bezeichnung fand nach und nach allgemeinen Eingang, obschon sie ebensowenig wie andere, später in Antrag gebrachte Namen (Planetoiden, Koplaneten, Gruppenplaneten, Kleine Planeten) das einzige wirklich unterscheidende Merkmal dieser Himmelskörper, die Stellung zwischen Mars und Jupiter, hervorhebt. Das von K. v. Littrow vorgeschlagene Wort Zenarëiden (von *Ζεύς*, poet. Genitiv *Ζηνός*, und *Ἄρης*) würde dieser Forderung entsprechen, und dieser oder ein ähnlicher Kollektivname wird kaum zu vermeiden sein, wenn sich dergleichen Gruppen von Planeten in anderen Gegenden des Sonnensystems finden sollten.

Die Ähnlichkeit der Bahnen von Ceres und Pallas und der Umstand, daß beide Kurven in einer gewissen Gegend einander sehr nahe kommen, leitete Olbers auf die gewiß scharfsinnige Idee, daß man hier vielleicht Trümmer eines größeren Planeten vor sich habe. Was man von dieser Ansicht auch denken mag, jedenfalls hatte sie den Nutzen, zu weiteren Nachsuchungen anzuregen. Es war zunächst Harding, damals Observator an der ursprünglich privaten Sternwarte des Oberamtmanns Schröter in Lilienthal bei Bremen, der es sich angelegen sein ließ, durch Anfertigung genauer Sternkarten den Weg zu betreten, welcher seitdem, wenngleich vielfach modifizirt, doch im

wesentlichen beibehalten, so reiche Früchte gebracht hat. Man durfte es nun nicht mehr einen bloßen Zufall nennen, wenn er am 1. Septbr. 1804 bei Vergleichung seiner Karten mit dem Himmel in den Fischen einen Stern 7. bis 8. Größe auffand, den er früher nicht bemerkt hatte und bald als einen neuen Planeten, den dritten der Gruppe zwischen Mars und Jupiter, erkannte, dessen Bahn in auffallender Uebereinstimmung mit Olbers' Hypothese die Ebene der Ceresbahn nicht weit von dem Orte kreuzte, wo auch die Pallasbahn der Bahn der Ceres sich näherte, — ein Umstand, der natürlich dazu beitrug, der Olbers'schen Idee Eingang zu verschaffen. Bei der Wahl des Namens ließ der Entdecker den schon vor Entdeckung irgend eines dieser Planeten gemachten Vorschlag des Herzogs Ernst von Gotha (Hera) zur Geltung kommen und nannte den neuen Planeten Juno, als Zeichen bestimmte er ein Zepter ⚵ mit einem Sterne an dessen Spitze. Gauß lieferte wieder die Berechnung der Bahn, zum allgemeinen Erstaunen schon aus den ersten, kaum 14 Tage umfassenden Beobachtungen mit außerordentlicher Genauigkeit.

Durch die scheinbare Bestätigung, die Juno der Olbers'schen Hypothese gebracht hatte, faßte diese besonders bei ihrem Urheber tiefere Wurzeln, als es, wie man freilich jetzt erst zu beurteilen imstande ist, der Sache förderlich war. Er ging nun von der Ansicht aus, daß alle noch künftig zu entdeckenden Himmelskörper dieser Gruppe wie die 3 bis dahin entdeckten einmal in ihrem Umlaufe um die Sonne durch die Sternbilder der Jungfrau und des Walfisches gehen müßten, und fand auch am 29. März 1807 in dem erstgenannten Sternbilde wieder einen neuen Planeten, der auf des Entdeckers Aufforderung den Namen Vesta sowie das Zeichen Altar und Flamme ⚶ von Gauß erhielt, welcher abermals in ungemein kurzer Zeit die Bahn bestimmt hatte und bald darauf in seinem unsterblichen Werke: „Theoria motus corporum coelestium" seine trefflichen Methoden vollständig veröffentlichte.

Vesta ist übrigens der hellste unter den bisher bekannten Asteroiden und nach Heis zuweilen sogar mit freiem Auge sichtbar. H. C. Vogel glaubt auf spektroskopischem Wege Spuren einer Atmosphäre an ihr erkannt zu haben.

§ 67. (Zweite Epoche der Asteroiden-Entdeckungen.) Bedenkt man, daß es allgemein bekannt war, wie Harding und Olbers den Himmel jahrelang auf das sorgfältigste durchsucht hatten, ohne andere als die eben besprochenen Planeten zu finden, so darf es nicht Wunder nehmen, wenn sich nach und nach die Meinung festsetzte, es gäbe weiter kein solches Gestirn; hatte doch Olbers mit aller Bestimmtheit erklärt, zwischen den Jahren 1808 und 1816 sei kein neuer Planet in der für solche Nachsuchungen von ihm hervorgehobenen Gegend zu sehen gewesen. So gewagt auch solche Behauptung namentlich der Thatsache gegenüber war, daß über ein Dutzend früher beobachteter Sterne notorisch vermißt wurden, folgte doch ein langer Zeitraum, in welchem man das Aufsuchen neuer Planeten ganz aufgegeben hatte, und erst die von Bessel zum Teil zu solchem

Behufe, vorgeschlagenen genauen Sternkarten des Äquatorialgürtels, welche die Berliner Akademie im Jahre 1825 herauszugeben unternahm, richteten die Aufmerksamkeit wieder auf diese verhältnismäßig leichte Art, sich einen bleibenden Namen in der Wissenschaft zu erwerben. Die gleichzeitige Verbreitung guter Fernrohre erlaubte weit kleinere Sterne als früher in den Bereich der Untersuchung zu ziehen und trug dazu bei, solche Forschungen zu einem auch den Dilettanten völlig zugänglichen Gemeingute zu machen. Ein eifriger Liebhaber der Astronomie, Herr Hencke in Driesen, der von einzelnen Teilen des Himmels reichhaltige Sternkarten im großen Maßstabe angefertigt und von Zeit zu Zeit mit dem Himmel verglichen hatte, eröffnete so nach 15jährigen Bemühungen und mit Hilfe eines Blattes der Berliner Karte im Jahre 1845 wieder die Laufbahn durch die Entdeckung der Asträa, welcher Encke den Namen und als Zeichen einen Anker ⚓ gab. Nachdem im darauf folgenden Jahre 1846 in ganz anderer Sphäre die berühmte Entdeckung des Neptun erfolgt war, fand abermals Hencke noch nicht 2 Jahre nach seinem ersten Funde am 1. Juli 1847, wieder mittels einer Berliner Karte, die Hebe, welche Namen und Zeichen ♉, einen Becher, von Gauß erhielt.

Es war dies so ziemlich die letzte überraschende Endeckung dieser Art: denn als Hind, Astronom an der Privatsternwarte des Herrn Bishop in London, wenige Wochen später mit der nächsten Auffindung eines neuen Planeten, Iris, auftrat, die von ihm selbst Namen und Zeichen ⛢ (Stern unter einem Regenbogen) erhielt, wurde die Durchmusterung des Himmels zu solchem Behufe zunächst von Hind selbst, der diesen Fund wieder einer Berliner Karte verdankte, in so großartiger Weise unternommen, daß von nun an ein Jahr ohne neuen Planeten eine Ausnahme gewesen wäre, die sich bisher denn auch nicht ereignet hat. Hind und Valz, Direktor der Sternwarte zu Marseille, hatten nahezu gleichzeitig den glücklichen Gedanken, daß es zu ähnlichen Zwecken nicht erforderlich sei, Gürtel von bedeutender Breite (die Berliner Karten umfaßten 30° Deklination) in Karten verzeichnet zu haben, sondern daß, da jeder um die Sonne kreisende Himmelskörper zweimal während eines seiner Umläufe durch die Ebene der Ekliptik, geht, es vollkommen hinreicht, diejenigen Fixsterne zu kennen, welche in geringer Entfernung nördlich oder südlich von dieser Ebene stehen, um durch eine beständige Überwachung einer schmalen, daher leicht zu durchforschenden Zone nach und nach alle bisher unbekannten Planeten aufzufinden. Der geringe Umfang der betreffenden Karten ließ es zu, alle durch mäßige Fernrohre irgend sichtbaren Sterne in Berücksichtigung zu nehmen und so die Wahrscheinlichkeit, auf neue Himmelskörper zu stoßen, bedeutend zu erhöhen. Hind führte zuerst solche Karten aus und bethätigte die Richtigkeit dieses Vorgehens bald durch zahlreiche Entdeckungen, begnügte sich aber einstweilen und bis zur Vollendung seiner eigenen mit der Ergänzung der Berliner Karten, was ihn schon zwei Monate nach der Entdeckung

der Iris auf Flora führte, deren Name vorher und in Erwartung einer baldigen weiteren Bereicherung des Planetensystems von Sir John Herschel vorgeschlagen war, der nun auch das Zeichen ⚘, eine Blume bestimmte. Dieses Zeichen, obschon an sich ohne Widerspruch angenommen, war zu kompliziert, um, wie die bisher gewählten, als Abkürzung in der Schrift zu dienen, und regte die ersten Zweifel gegen den Gebrauch solcher besonderen Zeichen überhaupt an, den man zwei Jahre später zum ersten Male bei Egeria, dem 13. Asteroiden aufgab, und von da an, abgesehen von Eunomia (♎, Herz und Stern) nur noch bei den ersten 5 von R. Luther entdeckten Planeten: Thetis (☿, griechisch Theta, einem Delphin ähnlich), Proserpina (♋, Granatapfel und Stern), Bellona (⚔, Spieß und Geißel), Laucothea (🜨, Leuchtturm) und Fides (☩, ein Kreuz) wieder aufnahm. Denn schon im Jahre 1852, das an solchen Funden reich wie bisher noch kein anderes war, drängte sich die Notwendigkeit einer zweckmäßigeren Bezeichnung mehr als je auf. Der amerikanische Astronom Gould und R. Wolf in Zürich machten den praktischen Vorschlag, die in einen Kreis eingeschlossene Nummer der chronologischen Reihe der Entdeckungen als Zeichen zu wählen, was bald allgemein angenommen wurde. Mit dieser Zählung begann man anfangs bei Asträa, gab aber später den 4 älteren Asteroiden (Ceres, Pallas, Juno und Vesta) die ersten 4 Nummern: ①, ②, ③ und ④, somit Asträa ⑤ und zählt so weiter fort, nämlich Hebe ⑥, Iris ⑦, Flora ⑧, u. s. w.

Bei dieser Gelegenheit wollen wir auch ein paar Worte über die Benennung der Asteroiden hinzufügen.

Als im Anfange unseres Jahrhunderts die ersten Asteroiden entdeckt wurden und nach einer langen Zwischenpause Hencke mit der Auffindung der Asträa im Jahre 1845 die Epoche der Entdeckung zahlreicher Glieder dieser Planetengruppe eröffnete, galt jeder neue Fund als ein bedeutsames astronomisches Ereignis und auch die Taufe eines derartigen Himmelskörpers als ein solches. Die von verschiedenen Seiten vorgeschlagenen Namen wurden daher in den Fachblättern in Bezug auf ihre Zweckmäßigkeit diskutiert, ehe man sich für einen bestimmten entschied, und es wurden auch von den bedeutendsten Astronomen Normen und Gesichtspunkte erörtert, nach welchen die Benennung zu erfolgen hätte. So äußerte sich beispielsweise J. Herschel dahin, daß man in den Namen womöglich die Örtlichkeit der Entdeckung andeuten sollte. Diesem Prinzipe gemäß sind nach dem Entdeckungsorte ausgewählt die Namen Parthenope (= Neapel) für ⑪, Massalia für ⑳, Lutetia für ㉑, Nemausa (= Nismes) für ㊶, Tolosa für ㊳, Polana (= Pola) für ㊷, Weringia (= Währing) für ㉖, Vindobona für ㉛, Heidelberga für ㉕ und einige andere. Nach dem Lande, in dem die Entdeckung erfolgte, sind genannt in weiterem Sinne ㊷ Europa und ㊼ Asia: in engerem Sinne ㊸ Ausonia (= Italien), ㊱ Austria, ㊽ Gallia, ㊸ Istria, ㊶ Germania, ㉝ Badenia u. s. w. In gewissem Sinne können hierzu noch gerechnet werden ㉗ Silesia und ㉕ Opparia (= Troppau) als Vaterland und

Geburtsstadt des Entdeckers Palisa, (263) Dresda als Aufenthaltsort des Taufpathen u. d. g.

Von anderer Seite hingegen wurde der Wunsch ausgesprochen, die Namen der Asteroiden mit Beziehung auf die Umstände ihrer Entdeckung oder andere gleichzeitige merkwürdige Ereignisse auszuwählen. Diesem Prinzipe verdanken wie es scheint ihre Namen: (28) Bellona, zum Andenken an die kriegerische Zeit, in der ihre Entdeckung fiel, (55) Pandora, in Anspielung auf die damalige politische Lage besonders in Amerika, und (58) Concordia, mit Bezug auf die unerwarteten Friedensaussichten, deren Europa sich damals erfreute. In ähnlicher Weise erhielt der Planet (72) den Namen Feronia nach der altitalischen Gottheit, in deren Tempel zu Präneste freigelassenen Sklaven die symbolische Mütze zugesprochen wurde, zur Erinnerung an die damaligen Vorgänge in Nordamerika. Ebenso lassen die Namen Liberatrix, Velleda und Johanna, welche die Brüder Henry in Paris den von ihnen aufgefundenen Planeten (125), (126) und (127) gaben, unschwer eine Anspielung auf die zur Zeit der Entdeckung eingetretene Befreiung Frankreichs von feindlicher Okkupation, eine Beziehung auf Revanchegedanken, und eine Erinnerung an Jeanne d'Arc erkennen, während C. H. F. Peters die beiden von ihm in einer Nacht unmittelbar nach seiner glücklichen Heimkehr von der Expedition zur Beobachtung des Venusdurchganges von 1874 in der Südsee aufgefundenen Asteroiden (144) und (145) Vibilia und Adeona taufte, jene nach der Göttin der Wege, diese nach der Göttin der Ankunft.

Aus den übrigen ziemlich zahlreichen Namen, die in diese Kategorie gehören, und zur Erinnerung an die verschiedensten nicht selten ziemlich weit hergeholten Ereignisse dienen sollen, wollen wir nur noch den einen herausgreifen, den des Planeten (273), welcher wenige Stunden vor dem Hinscheiden von Kaiser Wilhelm I. aufgefunden, und infolgedessen von den Berliner Astronomen sehr sinnig mit dem Namen der Parze Atropos belegt wurde.

Allgemein war man aber dahin übereingekommen, nur Namen aus dem klassischen Altertume zuzulassen, vor Allem aber solche zu vermeiden, welche als eine Huldigung, Schmeichelei oder dgl. aufgefaßt werden könnten. In dieser Richtung war man anfangs so strenge, daß die amerikanischen Astronomen Hinds dritten Planeten (12) viele Jahre hindurch Clio nannten, statt des vom Entdecker vorgeschlagenen Namens Victoria, weil sie darin eine Huldigung für die Königin Viktoria erblickten. Bei der raschen Vermehrung der Zahl der Planeten wurde man aber in dieser Beziehung nach und nach minder skrupulös. So wurde der Name Eugenia, mit dem Goldschmidt seinen siebenten Planeten (45) belegte, ohne viele Kontroverse angenommen, obwohl hier die Beziehung auf die Kaiserin der Franzosen offenbar war; ebenso acceptierte man, allerdings erst nach einem längeren Widerstande, den von Moigno zu Ehren Humboldts gewählten Namen Alexandra für (54); hingegen konnte Steinheil mit seinem Vorschlage, den Planeten (65) zu Ehren des baierischen Königs Maximilian Maximiliana

zu nennen, noch nicht durchdringen, indem statt dessen der von den Berliner Astronomen eingeführte Name Cybele sich nach und nach allgemeine Anerkennung verschaffte. Später, und namentlich seitdem Amerika begann, an den Planeten-Entdeckungen in hervorragender Weise teilzunehmen, wurden mehrfach auch Namen aus der Mythologie und Sagengeschichte anderer Völker als der des klassischen Altertumes herbeigezogen, ohne daß sich dagegen irgend ein Einspruch erhoben hätte. Hingegen wurde, besonders von Seite maßgebender deutscher Astronomen, längere Zeit gegen den Usus geeifert, der sich durch die Brüder Henry allmählich ausbildete, den Asteroiden weibliche Taufnamen, welche keinen mythologischen Hintergrund haben, zu geben, — aber vergeblich. Dies ist auch sehr begreiflich, da man, als die Zahl der Asteroiden mehr und mehr anschwoll, immer häufiger zu Gestalten und Namen aus dem klassischen Altertume zu greifen genötigt war, über deren Trägerinnen selbst umfangreiche Mythologien nichts zu berichten wissen. Minder begreiflich ist es aber bereits, daß der Jagdpatron Hubertus sich die Versetzung unter die Gestirne durch die Verwandlung in eine Jagdpatronin erkaufen mußte, und daß wahrscheinlich infolge von Unkenntnis des Geistes der slavischen Idiome, durch Umänderung des Namens Dembowsky in Dembowka nicht der berühmte Astronom, sondern dessen Gattin dieser Ehre teilhaftig wurde, u. dgl. m. Daß man aber so weit ging durch (193) die Götternahrung Ambrosia, durch (268) Adorea, die leichten flachen Kuchen aus Mehl und Salz, welche die Römer den Göttern opferten, sowie wenn nicht alles täuscht durch (322) Phäo das Wildschwein Phäa, das bei Crommyon in der Nähe von Korinth hauste, und durch (305) Gordonia den Gordischen Knoten am Himmel zu verewigen, daß man endlich Asteroiden sogar nach Büchertiteln ((141) Lumen), Romanhelden ((152) Alala) u. dgl. benannte, kann wohl nicht mehr als eine unschuldige Spielerei, wie R. Wolf es nennt, sondern nur noch als eine Satire auf die Benennung derselben aufgefaßt werden. Man kann daher die Praxis, die sich seit der Verwendung der Photographie zu Planeten-Entdeckungen eingebürgert zu haben scheint, vom Geben eines eigenen Namens überhaupt abzusehen, nur billigen.

Ehe wir jetzt wieder zur Fortsetzung der Berichte über die weiteren Asteroiden-Entdeckungen zurückkehren, wollen wir noch vorausschicken, daß wir von nun an nicht mehr alle Planeten-Entdeckungen einzeln aufführen, sondern nur jene besprechen werden, welche wegen der Verhältnisse, unter denen sie erfolgten, oder wegen irgend einer anderen Ursache ein größeres Interesse beanspruchen, und in Bezug auf die übrigen auf die Tabellen am Schlusse des Werkes verweisen, welche nebst den Elementen dieser Himmelskörper auch die näheren Umstände ihrer Entdeckung enthalten.

Die zunächst nach Flora aufgefundene Metis erhielt das Zeichen ⊛ Auge und Stern, später (9), sowie den Namen vom Entdecker Graham, Observator an Coopers Sternwarte zu Markree Castle, während die ein Jahr darauf, am 12. April 1849, durch Vergleichung einer Berliner akademischen Sternkarte

mit dem Himmel entdeckte Hygiea uns in der Person des Herrn de Gasparis, damals Assistent, später Direktor der Sternwarte zu Neapel einen neuen, fruchtbaren Planetenjäger vorführte, der innerhalb eines Zeitraumes von wenig mehr als einem Decennium unsere Kenntnis des Asteroidenringes um 10 Glieder erweiterte.

In Irene (14) begegnet uns der erste Asteroid, der, ein Beweis der vielseitigen eifrigen Forschung in dieser Richtung, von 2 Astronomen kurz nach einander entdeckt wurde: Hind fand ihn am 19., de Gasparis am 23. Mai 1851. Auch Psyche (16) wurde unabhängig von diesen beiden Astronomen entdeckt, hier aber Hind von de Gasparis überflügelt, obwohl der erstere diesen Planeten seit 25. Jänner 1852, also 3 Monate vor dessen eigentlicher Entdeckung auf der Spur war. Hind hatte nämlich an jenem Tage einen Stern 11. Größe auf die Karte gebracht, den er, als er am 18. März den ersten Abdruck seiner Zeichnung erhielt und mit dem Himmel verglich, nicht wiederfand; am 20. März, bis zu welchem Tage ihn trübes Wetter am Beobachten verhindert hatte, stieß er auf einen Stern 11. Größe an einer Stelle des Himmels, wo er früher keinen solchen gesehen. Er wollte nun noch die finsteren Nächte des Neumondes abwarten, um seine Untersuchung fortzusetzen, als er die Nachricht erhielt, daß de Gasparis das verdächtige Gestirn bereits am 17. März als einen Asteroiden erkannt habe. So fingen auch solche bis dahin unerhörte Beispiele nahe gleichzeitiger Entdeckungen neuer Planeten sich zu häufen an.

Thetis, nahe an Flora aufgefunden, macht uns wieder mit einem neuen Planeten-Entdecker ex professo bekannt: Robert Luther, Vorsteher der von Benzenberg in Bilk bei Düsseldorf gegründeten und durch Vermächtnis des Besitzers an die letzgenannte Stadt übergegangenen Sternwarte. Luther bereicherte in den folgenden 15 Jahren unsere Kenntnisse dieser Planetengruppe um 20 Glieder, konnte aber später nur noch weitere 4 erhaschen, da bei der allmählichen Abnahme der Helligkeit der noch unentdeckten Asteroiden seine geringen Hilfsmittel nur mehr dazu ausreichten, einzelne ausnahmsweise helle aufzufinden.

Von Massalia (20) hatte Chacornac schon am 9. September 1852 einen Ort in die ekliptischen Karten, die er damals unter Valz' Leitung in Marseille anlegte und später an der Pariser Sternwarte fortsetzte, eingetragen und den Stern als Planeten am 20. September erkannt; de Gasparis überholte ihn um einen Tag. Valz hatte, bevor er noch von de Gasparis Entdeckung wußte, nach Herschels Grundsatze den Namen Massalia vorgeschlagen, den de Gasparis auch annahm, obschon er bereits einen anderen Namen, nämlich Themis gewählt hatte.

Lutetia (21) ist der erste Fund eines Liebhabers der Sternkunde, des Herrn H. Goldschmidt in Paris, der, seines Zeichens eigentlich Historienmaler, uns von nun an bis zu seinem am 10. September 1866 erfolgten Tode fast alljährlich mit mehreren neuen Asteroiden beschenkte, und es dadurch auf die erkleck-

liche Anzahl von 14 derartigen Funden brachte. Die Nacht nach der Entdeckung der Lutetia wurde von Hind in Calliope (22) der erste Planet aufgefunden, den er vorsätzlich mittelst seiner eigenen Karten gesucht hatte. Dieselben verhalfen ihm selbst übrigens nur noch zur Entdeckung von 3 weiteren Asteroiden, da er bald nach deren Vollendung Bishop's Sternwarte verließ, um die Herausgabe des englischen Nautical Almanac zu übernehmen. Wir verdanken ihm die Entdeckung von 10 Asteroiden.

Den Planeten (24), der von Secchi den Namen Themis erhielt, welchen der Entdecker de Gasparis schon für Massalia vorgeschlagen hatte, hatte Chacornac bereits am 8. April 1853 in seine Karte als Stern eingetragen, bei der Revision am 15. vermißt, aber erst nach dem Eintreffen der Nachricht von der in Neapel am 5. April gelungenen Entdeckung in jenem Sterne einen Asteroiden konstatiert. Wieder wie Calliope in der Nacht nach Entdeckung der Lutetia wurde in der Nacht nach der Entdeckung der Themis, Phocäa (25) aufgefunden, mit welcher Chacornac in die Reihe der eigentlichen Entdecker tritt, nachdem er bei früheren Funden schon zweimal von Anderen überholt worden war.

Bellona (28) und Amphitrite (29) bieten das erste Beispiel von zwei in einer Nacht durch verschiedene Entdecker gefundenen Planeten, so daß man nun schon der Stunde des Auffindens bedurfte, um über die Priorität der Entdeckung so wie über die chronologische Reihe und das damit verbundene Zeichen zu entscheiden. Amphitrite zeichnet sich noch dadurch aus, daß sie unabhängig vom ersten Entdecker und nur einen Tag später durch Norman Pogson in Oxford, der ebenfalls Sternkarten zu solchem Behufe entworfen, ja am 3. März 1854 ein drittes Mal von Chacornac, nun Gehilfe an der Sternwarte in Paris, aufgefunden wurde. Der Fall, daß in einer Nacht zwei Planeten von verschiedenen Beobachtern entdeckt wurden, wiederholte sich seither mehrmals, nämlich bei Atalante (36) und Fides (37); bei Alexandra (54) und Pandora (55), bei Leto (68) und Hesperia (69), bei Aegle (96) und Klotho (97) u. s. w.

Zur Abwechslung mit durch absichtliches Suchen herbeigeführten Funden folgte in Euphrosyne (31) einmal eine zufällige Entdeckung ganz eigener Art, die dem Astronomen Ferguson der Washingtoner Sternwarte glückte. Derselbe wollte Egeria beobachten, fand aber dort, wo sie stehen sollte, zwei einander so nahe Sterne, daß er in Zweifel geriet, welcher von beiden der Planet sei. Er bestimmte deshalb die Position des einen wie die des andern und fand tags darauf, daß beide Gestirne, Planeten, nämlich Egeria und ein neuer Asteroid seien. Dies ist der erste Beitrag zu planetarischen Entdeckungen aus Amerika.

Bei Leukothea (37) ereignete sich zum ersten Male die Merkwürdigkeit, daß infolge der Überbürdung mit zeitraubenden Berechnungen und Beobachtungen neuer Himmelskörper die Astronomen mit den Entdeckern nicht Schritt halten konnten, und von nun an trat immer häufiger Gefahr ein, einen kaum gefundenen Planeten wieder zu verlieren, wie dies, freilich aus ganz andern Gründen, bei

dem Erstlinge Ceres der Fall gewesen. Die Wiederauffindung wurde so nicht selten wieder ein besonderes Verdienst, da bei der Unbestimmtheit des Ortes, wo der Planet nach seiner Zusammenkunft mit der Sonne sich aufhalten soll, weite Strecken des Himmels zu durchforschen sind. Dies trat bald darauf bei Daphne (41) noch drastischer zu Tage, welche nach ihrer Entdeckung durch Goldschmidt bloß an 4 Tagen in Marseille, Berlin und Wien genau beobachtet werden konnte und den Berechner der Bahn dieses Planeten, Herrn Pape, damals Observator an der Sternwarte zu Altona, zu der diese Periode unserer Wissenschaft charakterisierenden Aufforderung veranlaßte, man möge in den Entdeckungen eine mehrjährige Pause eintreten lassen: ein Wunsch, der durch die Fülle des von Jahr zu Jahr schwerer zu bewältigenden Stoffes für Beobachtung und Rechnung sehr wohl motiviert war, aber aus ebenso begreiflichen Ursachen unbeachtet blieb. In diese Zeit fiel auch Maury's Vorschlag, die Beobachtungen der neuen Himmelskörper unter die verschiedenen Astronomen zu verteilen, was wohl eine Weile versucht, aber, wie bei solchen vielköpfigen Unternehmungen gewöhnlich, bald wieder aufgegeben wurde.

Die spärlichen Beobachtungen von Daphne in ihrer ersten Erscheinung reichten zu sicherer Bahnbestimmung nicht hin; der Planet wurde 6 Jahre hindurch nicht wieder gesehen. Zwar hielt Goldschmidt ein bewegliches Gestirn, welches er den 9. September 1857 nahe an dem Orte, wo Daphne bei ihrer ersten Wiederkunft zu erwarten war, bemerkt hatte, und das auf seine Anzeige an verschiedenen Sternwarten beobachtet wurde, für diesen Asteroiden; aber E. Schubert vom Detroit Observatory in Ann-Arbor (Michigan), fand später bei näherer Untersuchung der Beobachtungen, daß beide Planeten keineswegs identisch seien. Der so gefundene neue Asteroid wurde einstweilen Pseudo-Daphne, und als Goldschmidt, nachdem auch dieser Planet mehrere Jahre nicht gesehen war, denselben am 27. August 1881 neuerdings auffand, von Schubert definitiv Melete getauft. Das Zeichen dieses Planeten wurde (56), da vor dessen Konstatierung bereits 55 Asteroiden bekannt waren. Am 31. August 1862 endlich bestätigte Luther in einem anfangs für neu gehaltenen Asteroiden, ganz nahe an der damals eben entdeckten Galatea, (74) die lang vermißte Daphne.

Doris (48) und Pales (49) geben das erste Beispiel zweier in derselben Nacht (19. September 1857) von demselben Beobachter, Goldschmidt, nahe an derselben Stelle entdeckten Planeten, weshalb E. de Beaumont für beide zusammen die Bezeichnung „Les Jumelles" vorschlug, ohne aber damit Eingang zu finden. Auch dieser Fall hat sich mehrfach wiederholt: es glückte sogar C. H. F. Peters zweimal, bei (122) Gerda, (123) Brunhild und (144) Vibilia (145) Adeona, und Palisa selbst dreimal bei (254) Augusta, (255) Oppavia, bei (262) Valda, (263) Dresda und bei (291) Alice, (292) Ludovica je 2 Planeten in einer Nacht aufzufinden: ja die beiden letztgenannten sind überdies eigentlich eine Doppelentdeckung, indem unabhängig von Palisa in der folgenden Nacht auch

Charlois auf diese Gestirne stieß, welchem letzteren, gleichsam zum Ersatze hierfür, einige Wochen nachher an (297) Cäcilia und (298) Baptistina wieder eine Entdeckung zweier Planeten in einer Nacht gelang, bei der ihm die Priorität verblieb.

Nemausa (51) ist die erste Frucht einer neuen Art von Sternkarten solchen Zweckes, die Valz vorgeschlagen und an seiner Privatsternwarte zu Nismes durch den astronomischen Dilettanten Laurent ausführen ließ. Es beschränkten sich diese Karten nämlich auf wenige Grade nördlich und südlich von der Ekliptik in der Gegend der Äquinoktien, welche ebenfalls von den Asteroiden bei jedem Umlaufe um die Sonne durchwandert wird und den großen Vorteil hat, verhältnismäßig sternarm zu sein, so daß jede Veränderung leichter auffällt, während die Karten aus demselben Grunde und ihrer geringen Ausdehnung wegen schnell anzufertigen sind.

Danaë (61) bietet durch die extremen Lagen, welche sie gegen den Äquator der Erde einnehmen kann, besonderes Interesse. Wenn Danaë um die Mitte des Winters in Opposition tritt, so wird sie für unsere geographischen Breiten cirkumpolar, während sie, im Falle ihre Opposition um die Mitte des Sommers sich ereignet, für uns nicht aufgeht. Ähnliche Verhältnisse kommen übrigens bereits bei Atalante und Euphrosyne, sowie auch bei mehreren später entdeckten Asteroiden wie Niobe, Julia u. s. w. vor.

Der beinahe gleichzeitig mit Danaë von Chacornac entdeckte Planet (59) erhielt zwei Jahre hindurch, obschon mehrere später aufgefundene Asteroiden längst getauft waren, keinen Namen, aus Grund besonderer Ansichten der Pariser Astronomen, die an der Nützlichkeit solcher Taufen zweifelten und eine Bezeichnung durch die chronologische Ziffer der Entdeckung, verbunden mit dem Namen des Entdeckers, so wie vielleicht eine Andeutung der mittleren Entfernung von der Sonne in Vorschlag brachten, ohne damals damit Eingang zu finden. Um der Unbequemlichkeit, die jener Planet so bot, ein Ziel zu setzen, ersuchte E. Weiß, dem als ersten Berechner der Bahn nach astronomischem Gebrauche solche Nottaufe zustand, K. v. Littrow, einen Namen zu wählen. Der in Anspielung eben auf die lange Erwartung einer Benennung gemachte Vorschlag Elpis wurde von vielen Seiten sofort angenommen, während das Pariser Observatorium nun erst durch Hind in London den Planeten Olympia nennen lies, welcher Name aber nie recht in Gebrauch kam.

Foerster und Lesser in Berlin hatten gleich nach erhaltener Anzeige der eben besprochenen Chacornac'schen Entdeckung sehr nahe an der Stelle des Himmels, welche der neue Planet einnehmen sollte, ein bewegliches Gestirn gefunden, das sie sehr begreiflich einige Tage in der Meinung beobachteten, sie hätten den Chacornac'schen Asteroiden vor sich. Es fiel ihnen allerdings die Abweichung auf, welche zwischen den von ihnen erhaltenen Positionen und einer von anderer Seite herrührenden vorläufigen Berechnung der Bahn des Chacornac'schen Planeten stattfand; sie schoben dies aber auf die Ungenauigkeit

solcher erster Rechnungen, ohne die Sache näher zu untersuchen. So kam es, daß zuerst Luther in Bilk und beinahe gleichzeitig Hornstein in Wien, die den in Paris entdeckten Planeten verfolgten, die Berliner Astronomen aufmerksam machen konnten, daß diese einen vom Chacornac'schen ganz verschiedenen Asteroiden beobachtet hatten, der nun von Encke den Namen Erato (62) erhielt. Spätere Rechnungen zeigten, daß Elpis und Erato an dem Tage der Entdeckung der ersteren einander eben so nahe gestanden als zur Zeit der Auffindung der letzteren, also nur äußere Zufälligkeiten Chacornac gehindert hatten, beide Gestirne zugleich als Planeten zu erkennen. Diese wechselseitige Annäherung war jedoch nur scheinbar oder optisch, d. h. dadurch hervorgerufen, daß diese zwei Planeten, von der Erde aus gesehen, sich eben nahe auf derselben Linie befanden.

In derselben Woche, in welcher Danaë, Elpis und Erato entdeckt wurden, fand Ferguson einen vierten neuen, von ihm Titania genannten Planeten, ein in der Geschichte dieser Entdeckungen nun schon nicht mehr unerhörter Fall, da das Jahr 1857 oder 1858 ein anderes Beispiel gleich schneller Bereicherung unserer Kenntnis der Planetenwelt bietet, je nachdem man Melete nach ihrer ersten Auffindung durch Goldschmidt oder nach ihrer Erkennung als neuer Planet durch Schubert dem einen oder dem anderen der genannten Jahre zuzählt. Der Name Titania wurde übrigens als dem eines Saturnmondes (Titan) zu ähnlich und dem eines Uranusmondes gleichlautend in Echo (60) umgeändert.

Die 4 so rasch hinter einander geglückten Entdeckungen im September 1860 brachten einige Verwirrung in die Numerierung dieser Himmelskörper. Bisher hatte man sich bei der jedem neuen Planeten beizulegenden Ziffer einfach an die chronologische Ordnung der Entdeckungen gehalten. Danach wäre die Reihenfolge jener 4 Asteroiden gewesen: Danaë, Elpis, Erato, Echo. In diesem Falle aber hatte, bevor die neuen Funde alle nach jenem Prinzip gereiht werden konnten, bereits die oben angenommene Zählung Platz gegriffen und sich bald allgemeinen Eingang verschafft. Immerhin sind diese Kollisionen ein Zeichen der außerordentlichen Verhältnisse auf diesem Gebiete. Wer hätte noch 10 Jahre früher, als die Numerierung der Asteroiden nach der chronologischen Reihe der Entdeckungen vorgeschlagen wurde, geahnt, daß durch Anzeigen, die sich nur wenige Tage verzögern, oder durch entferntere Entdeckungsorte Unordnungen und Zweifel in dieser Bezeichnung sich ergeben würden!

Niobe (71) war bei ihrer zweiten Erscheinung selbst im südlichen Europa cirkumpolar. Feronia (72) wurde anfangs von C. H. F. Peters, Direktor der Sternwarte des Hamilton Kollege zu Clinton (Staat New York) für Maja (66) gehalten, bis Safford zeigte, daß die von Peters beobachteten Positionen einem anderen bisher unbekannten Planeten angehören. Infolgedessen wurden weder von Maja noch auch Feronia bei dieser Erscheinung genug Beobachtungen gesammelt, um eine sichere Vorausberechnung für die kommende liefern zu können.

Maja wurde in der That auch erst 15 Jahre später wieder gesehen, während in der Nähe des Ortes, wo Feronia in der zweiten Opposition stehen sollte, also wohl bei ausgedehnten Nachsuchungen nach derselben nicht weniger als 3 neue Planeten entdeckt wurden: zwei, Eurydice (75) und Frigga (77), wieder von C. H. F. Peters, und einer Freja (76) von d'Arrest.

Nach Eurynome (79), dem Erstlingsfunde von James Watson, der innerhalb der folgenden 14 Jahre bis zu seinem Tode am 23. Oktober 1880, 22 Planetenentdeckungen feierte, ward uns ein weiterer Fund auf diesem Gebiete erst nach längerer Einleitung beschieden. Am 11. November 1863 fand R. Luther einen Planeten, bei dem es anfangs zweifelhaft war, ob er nicht ein neuer sei, der sich aber doch zuletzt als die von Luther eben gesuchte Leto erwies. Zwei Tage darauf beobachtete J. Schmidt in Athen einen Asteroiden, den er aus Mangel genauer Ephemeriden für einen bisher unbekannten hielt und der auch eine Weile dafür galt, bis der Herausgeber dieses Werkes und Hind in London zeigten, daß Schmidt Hygiea (10) beobachtet habe. Am 2. Februar 1864 endlich fand Pogson zu Madras nahe bei Concordia und Galatea einen Planeten in einer Gegend des Himmels, wo von vorherein keiner der bisher bekannten Asteroiden zu vermuten war. Pogson gab dem vermeintlich neuen Gestirne den Namen Sappho. R. Luther äußerte zuerst Zweifel über die Neuheit dieses Himmelskörpers und wies auf Freia hin, deren sehr unsichere Elemente man nur in allerdings ehemals unerhörtem, aber unter den heutigen Verhältnissen solcher Bahnbestimmungen immerhin erlaubtem Maße zu ändern brauche, um sie für jene Zeit an die Stelle der Sappho zu bringen; eine Mutmaßung, die sich bald darauf bestätigte. Indessen sollte Pogson das Schlachtfeld, auf dem nun schon 3 vermeintlich neue Funde gefallen waren, zuletzt doch behaupten, indem ihm schließlich immer noch die nächste Entdeckung eines bis dahin unbekannten Planeten gelang, dem nun definitiv der Name Sappho (80) zufiel.

An die Entdeckung von Semele (86) knüpfen sich wieder eigentümliche Umstände. Herr F. Tietjen an der Sternwarte in Berlin wollte am 4. Jänner 1866 die Io (85) aufsuchen und kam dabei auf zwei Sternchen, deren eines sehr nahe an dem vorausberechneten Orte dieses Asteroiden stand, deren anderes sich etwa 3′ südlich und 6^s östlich davon fand. Nach 50^m fand der Beobachter zwischen beiden Objekten fast gar keine relative Bewegung, wohl aber hatten sich beide gegen einen dritten Stern um etwa 2^s verrückt. Da er diesen aber nur oberflächlich mit den beiden anderen Sternen verglichen hatte, so vermutete er einstweilen einen Fehler beim Zählen der Sekunden. Ein ferneres Beobachten gestatteten an diesem Abende Mond und trüber Himmel nicht mehr. Am 5. Jänner waren die zwei zuerst besprochenen Sterne von dem Orte, welchen sie am 4. inne gehabt, verschwunden; an dem Orte, wo nun Io sein sollte, stand aber wieder ein Sternchen, und $10{\cdot}4^s$ östlich, 1′ nördlich davon ein anderes, das Tietjen nun sofort für einen neuen Planeten hielt, da er die betreffende Gegend am

Abende vorher durchmustert und dieses Gestirn nicht bemerkt hatte. Die nach kurzer Zeit erfolgte Bewegung beider Objekte gegen andere Sterne bestätigte die Vermutung.

Aegina (91) erhielt ihren Namen von Prof. Bruhns im Einverständnis mit dem zum ersten Male als Entdecker auftretenden Astronomen der Marseiller Sternwarte, Borrelly infolge eines Beschlusses der Astronomischen Gesellschaft, für solche Benennungen zu sorgen, wenn die Entdecker damit zu lang zögern. Aegina wurde übrigens 5 Jahre hindurch nach ihrer Entdeckung vermißt, bis Professor v. Oppolzer nach der von ihm durchgeführten neuen Bahnbestimmung im Jahre 1871 dieselbe wieder konstatierte. Ebenso wurden auch Minerva (93) und Aurora (94) im Einverständnisse mit dem Entdecker J. Watson, dem dieser Doppelfund innerhalb weniger Tage gelang, von der Astronomischen Gesellschaft getauft. Mit der inzwischen erfolgten Auffindung von Undina (92) durch C. H. F. Peters war übrigens, wenn man die 8 großen Hauptplaneten berücksichtigt, die Zahl dieser Himmelskörper bereits auf das volle Hundert gebracht, während man 20 Jahre vorher kaum ein Dutzend solcher Gestirne kannte.

An demselben Tage, an welchem der damals auf diesem Gebiete noch nicht bekannte Astronom der Marseiller Sternwarte, Coggia, (96) Aegle auffand, stieß ebenfalls in Marseille auch Tempel auf einen Planeten, den er anfangs für Aegina hielt, aber wegen seiner starken Bewegung in Deklination bald als neuen Himmelskörper zu betrachten sich veranlaßt sah. Nach Aufforderung, und wahrscheinlich auch auf den Vorschlag des Entdeckers gab die Société des Sciences in Cherbourg dem Gestirne den Namen Chloto (97). Tempel wollte nämlich die drei, das erste Hundert von Asteroiden schließenden Planeten mit den Namen der Parzen belegt wissen; „nicht als wenn die Schere der Atropos den Faden dieser Nachforschungen abschneiden sollte, sondern nur um überhaupt einen Abschnitt zu bezeichnen". Und doch kann dieser Vorschlag als eine Vorahnung in doppelter Beziehung aufgefaßt werden: Clotho war Tempel's letzte Asteroidenentdeckung, und schließt insofern eine bedeutsame Epoche in der Geschichte dieser Gestirne, als es auch das letzte war, das von einem Liebhaber der Sternkunde aufgefunden wurde. Denn auch Tempel war, wenigstens in seiner Jugend, kein Berufsastronom, sondern ein Lithograph, der aber eine solche Freude an der Durchmusterung des Himmels hatte, daß er sich von seinen Ersparnissen ein kleines Fernrohr anschaffte und damit im Jahre 1859 einen Kometen entdeckte. Dies veranlaßte ihn, sich nach und nach ganz der Sternkunde zu weihen, welche ihm die Auffindung von 6 Asteroiden und 12 Kometen, darunter 4 periodischen mit kurzer Umlaufszeit, verdankt. Seine Entdeckungen liefern übrigens ein auffallendes Beispiel, mit wie geringen Mitteln man noch vor Kurzem der Wissenschaft auf diesem Felde bedeutende Dienste leisten konnte. Es fehlten nämlich an dem Fernrohre des Herrn Tempel alle, selbst die einfachsten Vorrichtungen, welche ihm seine Arbeit hätten erleichtern und ihn in den Stand setzen können, zur

Bahnbestimmung brauchbare Beobachtungen zu liefern: er mußte daher stets erst einen oder den anderen Astronomen ersuchen, seine Entdeckungen zu verifizieren resp. in Bezug auf ihre Neuheit zu untersuchen.

Tempel's oben erwähnter Vorschlag, den letzten, das erste Hundert der Asteroiden schließenden Asteroiden den Namen der Parzen zu geben, wurde übrigens nicht berücksichtigt, wahrscheinlich aber nur deshalb, weil die Nummer der „Astronomischen Nachrichten", die ihn enthielt, den Entdeckern der beiden folgenden Asteroiden (98) und (99), C. H. F. Peters und Borrelly erst zukam, als sie dieselben schon Janthe und Dike getauft hatten. Hingegen wurde (100) von der National Academy of Sciences U. S. mit etymologischer Anspielung auf ihre Nummer: Hekate genannt; dieselbe wurde zuerst von Watson, drei Tage später von C. H. F. Peters, und nach abermals zwei Tagen auch noch von Coggia aufgefunden.

Die Entdeckung von (133) Cyrene ist dadurch bemerkenswert, daß Professor Watson auf dieselbe stieß, als er einen ein paar Wochen früher von ihm entdeckten Asteroiden aufsuchte, den er anfangs in diesem Gestirne zu erkennen glaubte, und als er seinen Irrtum einsah, verloren geben mußte.

Juewa (139) wurde auch von Professor Watson, aber nicht in seinem eigentlichen Wohnorte Ann Arbor, sondern in Peking entdeckt, wo er sich eben in Erwartung des Venusdurchganges aufhielt, und als Nebenbeschäftigung das Aufsuchen neuer Planeten betrieb. Nach handschriftlichen Notizen Watson's, die Comstock nach dessen Tode auffand, heißt der vom chinesischen Prinzen Kung gewählte Name eigentlich Jue wha sing: The star of Chinas fortune, zu deutsch: Chinas Glücksstern.

Nachdem auf das planetarische Jahr 1868, in dem 12 Funde glückten, gleichsam als erschöpfe sich auch der Himmelsboden durch zu üppige Ernten, ein paar ungewöhnlich arme Jahre (1869, 1870) und hierauf noch einige mit einer mäßigen Ausbeute gefolgt waren, treten wir 1875 in eine Epoche, die es an Fruchtbarkeit allen früheren weit zuvorthat, indem uns 1875 allein 17, oder wenn man von Mitte 1875 bis Mitte 1876 rechnet, ein Jahr sogar 20 Asteroiden brachte; ja die ersten 8 Tage des November 1875 lieferten uns allein 5 Himmelskörper dieser Art, (151) bis (155), von denen wir die Entdeckung dreier J. Palisa und der übrigen zwei den Brüdern Henry verdanken. Den ersten dieser taufte daher der Herausgeber des Werkes auf Einladung des Entdeckers J. Palisa, Abundantia, nach einer Göttin, die mit den armen Astronomen auf diesem Felde seit Jahren erbarmungsloses Spiel treibt und namentlich in dieser Epoche ihr Füllhorn über uns ausschüttete. Übrigens wurden die zuletzt erwähnten 5 Planeten, und ein sechster, den nur 14 Tage später wieder J. Palisa auffand, in einer engbegrenzten Gegend des Himmels entdeckt, da die Fundorte kaum 7° in Rektascension und 4° in Deklination auseinander lagen. Die gegenseitige Nähe war jedoch nur optisch, und die Himmelskörper standen keineswegs

physisch beisammen. Unter den eben genannten Asteroiden befindet sich auch (153) Hilda, deren große Halbachse zwar noch von der des Planeten (279) Thule übertroffen wird, welche sich aber wegen der großen Excentricität ihrer Bahn im Aphel ebensoweit von der Sonne entfernt als diese, und daher zu jenen Asteroiden gehört, welche die Zone, in der dieselben sich aufhalten, nach außen hin begrenzt. Wenige Monate später wurde in (164) Eva jener Planet entdeckt, welcher mehrere Jahre hindurch als innere Begrenzung jener Zone galt, nämlich als jener Planet, der sich im Perihele der Sonne am meisten nähert, bis ihr (228) Agathe den Rang ablief. Nach den vorhandenen Elementen ist zwar die kürzeste Entfernung von der Sonne bei 2 anderen Planeten, nämlich (132) Äthra, und namentlich bei (323) Brucia noch kleiner als bei Agathe; allein die Elemente dieser 2 Asteroiden sind nur aus den wenige Tage umfassenden Beobachtungen der ersten Erscheinung abgeleitet, und infolgedessen zu unsicher, als daß ihre daraus abgeleitete Perihel-distanz Vertrauen verdienen würde. Halten wir uns daher an sicher festgestelltes, so ist in Einheiten der halben Erdbahnhalbachse ausgedrückt die Periheldistanz der Agathe 1·672 und die Apheldistanz der Hilda 4·604; die ganze Breite des Asteroidengürtels beträgt also 2·932 Erdbahnhalbmesser oder 436 Millionen km. Die Apheldistanz des Mars beziffert sich auf 1·666, die Periheldistanz des Jupiter auf 4·952 Erdbahnhalbmesser: die innere Grenze des Asteroidenringes liegt also hart an der Marsbahn, und die äußere ist nur $^1/_3$ Erdbahnhalbmesser von der Bahn des mächtigen Jupiter entfernt, so daß letzterer auf einzelne dieser Körper sehr gewaltige Störungen ausüben, und im Laufe der Zeit ihre Bahn sehr erheblich umgestalten kann. Übrigens steigt unter den sicher bestimmten Bahnen bei Eva und (183) Istria die Excentricität auf 0·347, was bereits nahe an die Excentricität einiger periodischer Kometen mit kurzer Umlaufszeit heranreicht. Diese beiden Planeten stehen deshalb auch im Aphel mehr als doppelt soweit von der Sonne ab, als im Perihel; Extreme, welche bei den großen Planeten auch nicht entfernt vorkommen.

Nach der Entdeckung von (172) Baucis am 5. Februar 1877 verstrich ein halbes Jahr, bis wieder ein derartiger Fund gelang. Hingegen schien die zweite Hälfte des Jahres wett machen zu wollen, was in der ersten auf diesem Gebiete versäumt worden war, indem bereits wenige Tage nachher wieder die Auffindung eines Asteroiden durch Watson gemeldet wurde. Dieses Objekt wurde anfangs als (174) bezeichnet, bis es sich bei der ersten Bahnbestimmung herausstellte, daß es mit den von den Brüdern Henry am 13. Jänner 1875 entdeckten, aber seither nicht wieder gefundenen Planeten (141) Lumen identisch sei. Nichtsdesto-weniger verblieb Watson die Entdeckung des 174. Asteroiden, da er bereits am 3. September wieder auf einen Planeten stieß, der zunächst mit dem Zeichen (175) belegt wurde, da man damals die Identität des früheren Watson'schen Planeten mit Lumen noch nicht erkannt hatte.

Die letztgenannte Bezeichnung ist nun dadurch merkwürdig, daß sie vielfach

von einem Planeten zum andern wanderte und erst dem vierten definitiv verblieb. Zum zweitenmale bekam sie nämlich ein Planet, den J. Palisa am 2. Oktober in Pola auffand; allein auch dieser mußte sie bald wieder ablegen, als sich seine Identität mit (161) Athor herausstellte. Dies Zeichen wanderte nun auf den am 14. Oktober von Peters in einem Sterne 10. Größe erkannten Planeten Iduna, der es aber wieder an einen von Watson entdeckten Asteroiden Andromache abtreten mußte, von dem man erst in der zweiten Hälfte des Novembers durch briefliche Mitteilungen des Entdeckers Kenntniß erhielt. Diesem Watson'schen Planeten blieb endlich als dem früher aufgefundenen die Bezeichnung (175), während dem Planeten von Peters die Nummer und demgemäß das Zeichen (176) zufiel. Infolge der verspäteten Anzeige der Entdeckung der Andromache gelang es aber in Europa nicht mehr, den Planeten in dieser Erscheinung zu beobachten, und auch Watson konnte ihn nicht lange genug verfolgen, um eine halbwegs genügende Bahnberechnung zu ermöglichen: er galt daher als verloren, bis er 16 Jahre später mit Hilfe der Photographie abermals aufgefunden wurde.

Ehe die briefliche Nachricht von der Entdeckung der Andromache in Europa eintraf, waren hier inzwischen zwei weitere Planetenentdeckungen gelungen, die eine am 5. November den Brüdern Henry, die andere am folgenden Tage Herrn Palisa, und auch diese Planeten mußten nun ihre früheren Bezeichnungen (176) und (177) mit (177) und (178) vertauschen.

Ähnliche Verrückungen in den Entdeckungsnummern der Planeten, wie die hier beschriebenen, hatten sich wohl auch schon in früheren Jahren, namentlich im Jahre 1860 ereignet, wie dies an der betreffenden Stelle (S. 372) ausführlicher besprochen ist; jedoch wurden dabei nie so viele Planeten betroffen als diesmal. Der Grund davon liegt hauptsächlich darin, daß bei dem raschen Anwachsen der Planetenzahl die Fälle sich immer mehr häuften, wo einzelne derselben nur wenige Tage beobachtet wurden und dadurch der Ort des Planeten trotz aller darauf verwendeten Mühe sich nicht hinreichend genau vorausbestimmen ließ, um eine Wiederauffindung desselben in den kommenden Oppositionen zu ermöglichen. Es müssen deshalb viele Asteroiden später von neuem entdeckt werden, wie wir es beispielsweise hier gleich bei Lumen und Athor gesehen haben, — der vielen schon früher erwähnten derartigen Fälle gar nicht zu gedenken. Zu diesem ungünstigen Resultate trug damals auch noch der Umstand bei, daß infolge zu spät eingetroffener brieflicher Nachrichten die europäischen Astronomen den amerikanischen, und umgekehrt, in der Verfolgung dieser oft sehr lichtschwachen Objekte zuweilen nicht gehörig beistehen konnten. Der letztere Umstand rief auch schon öfter Verwirrungen in der Numerierung hervor, wie denn auch in der That die letzte der oben erwähnten Verschiebungen in den Nummern darin ihren Grund hatte. Diese Übelstände reiften immer mehr und mehr den Gedanken, astronomische Entdeckungen von einem Kontinent zum anderen telegraphisch mitzuteilen. Die ersten Schritte in dieser Richtung machte der Herausgeber dieses Werkes im Jahre

1872 bei einer Bereisung Amerikas zur Besichtigung der dortigen Sternwarten. Die damals eingeleiteten Unterhandlungen wurden kurz nachher von Professor C. H. F. Peters in Clinton glücklich zu Ende geführt, indem die transatlantische Kabelgesellschaft, auf welche es in erster Linie ankam, die gebührenfreie Beförderung einer beschränkten Anzahl astronomischer Telegramme bewilligte. Die weitere kostenfreie Beförderung in Amerika und Europa war teilweise leicht zu erwirken, teilweise bestand sie auch bereits, und wo sie sich nicht erreichen ließ, war dies wegen der bedeutend geringeren Telegraphengebühren von minderem Belang. In weiterer Ausgestaltung dieser Verabredungen wurde im Jahre 1886 eine Centralstelle für astronomische Telegramme in Kiel errichtet.

Den Reigen der Planetenentdeckungen im Jahre 1878 eröffnete Perrotin, indem er am 29. Jänner nur 15^m von jener Stelle, an welcher er am 10 Jänner 1877 (170) Maria angetroffen hatte, auf ein neues Gestirn stieß, das er zuerst für den in der Nähe befindlichen Planeten (166) Rhodope hielt. Dieser Planet wurde Garumna getauft, worin wir sofort die Gottheit des Flusses, an dem Toulouse liegt, erkennen, also, trotz der scheinbar weiblichen Endung, den Vorstellungen der Alten gemäß, eine männliche Persönlichkeit, und von dem ganz und gar unklassischen Namen Lumen abgesehen, der erste entschiedene Bruch mit dem bisherigen Gebrauche weiblicher Namen. Unabhängig von Perrotin war dasselbe Objekt am 1. Februar auch Palisa aufgefallen, der es aber anfangs für (167) Urda hielt, deren Bahn damals ebenfalls noch sehr unsicher war.

Bereits zwei Tage nachher meldete der Telegraph abermals die Entdeckung eines Planeten durch Cottenot in Marseille, dessen Name damit zum erstenmale auf diesem Gebiete auftaucht. Derselbe ist der 181. der Asteroidengruppe und erhielt den Namen Eucharis. Abermals 2 Tage darauf fielen Peters 2 bewegliche Gestirne auf, von denen er den östlicheren für Antigone, den westlicheren für einen neuen hielt, und demgemäß zuerst beobachtete. Inzwischen bewölkte sich der Himmel, und er meldete daher nur die Entdeckung dieses einen vermeintlich neuen Asteroiden nach Europa. Als aber Palisa am 7. Februar diese Gegend des Himmels in der Absicht durchmusterte, den neuen Himmelskörper zu beobachten, stieß er ebenfalls auf beide Planeten, hielt aber den östlicheren für den neuen Planeten und schenkte dem westlicheren keine weitere Aufmerksamkeit. Später stellte sich heraus, daß die Vermutung Palisa's richtig gewesen war und daher Professor Peters keinen neuen Planeten, sondern Antigone beobachtet hatte. Die Entdeckung fiel somit Palisa zu, dem einige Tage vorher Herr Perrotin, wie oben erwähnt wurde, in ähnlicher Weise mit der Auffindung des 181. Asteroiden zuvorgekommen war.

Das Jahr 1879 übertrifft an Reichhaltigkeit der Funde alle bisherigen, indem es uns nicht weniger als 20 neue Planeten brachte; ja es steigt die Zahl derselben sogar auf 22, wenn man nicht nach Solarjahren rechnet, sondern den Zeitraum von Mitte April 1879 bis Mitte April 1880 ins Auge faßt. Palisa

hatte überdies am 19. April dieses Jahres ein äußerst schwaches Sternchen 13. Größe in eine Sternkarte eingezeichnet, das er am 22. April vermißte. Dagegen traf er an einer anderen Stelle mehrere bis dahin noch nicht notierte Sternchen an, von denen er den hellsten beobachtete. Doch erst am 28. April konnte die Identität der beiden am 19. und 22. gesehenen Objekte konstatiert und der Planet an seinem neuen Orte beobachtet werden. Um dieselbe Zeit vermißte Palisa auch einen Stern, den er gelegentlich einer Beobachtung der Sylvia eingezeichnet hatte, und stieß bei dem Bemühen, denselben wieder aufzufinden, am 21. Mai abermals auf einen ziemlich schwachen Asteroiden (197) Arete, der aber mit dem gesuchten Objekte nicht identisch ist, das also einstweilen als verloren betrachtet werden muß, und die Zahl der während dieser Epoche unentdeckten Asteroiden auf 21, resp. 23 gebracht hätte.

Auch (206) Hersilia, entdeckt von Peters am 13. Oktober 1879, ist durch eine merkwürdige Verkettung von Umständen in Verlust geraten. Hersilia konnte nicht zu den schwachen Planeten gezählt werden, wurde aber vom Entdecker selbst bloß vom 13. bis 20. Oktober verfolgt, und auf die telegraphische Meldung der Entdeckung in Europa nur am 16. Oktober auf den Sternwarten in Berlin, Düsseldorf, Leipzig und Paris beobachtet. Die rasche Aufeinanderfolge von Planeten-Entdeckungen, deren zwischen dem 8. und 21. Oktober nicht weniger als 6 erfolgten, scheinen es verschuldet zu haben, daß jeder Beobachter die Verfolgung des hellsten dieser Himmelskörper für das minder wichtige hielt, und deshalb so wenig Positionsbestimmungen erhalten wurden, daß eine auch nur einigermaßen verläßliche Bahnbestimmung nicht möglich ist.

Die beiden Planeten (215) und (216) verdanken ihre Auffindung dem Suchen nach bereits bekannten Asteroiden. Der in dieser Richtung äußerst thätige und verdienstvolle Forscher Dr. Knorre beschäftigte sich im Anfang April 1880 mit umfassenden Nachsuchungen nach der seit ihrer ersten Opposition im Jahre 1876 verlorenen Sybilla. Bei dieser Gelegenheit stieß er am 7. April neben dem gesuchten noch auf einen anderen sehr schwachen Planeten 13. Größe, der Önone getauft wurde. Beim eifrigen Verfolgen dieses Himmelskörpers traf Knorre am 15 Mai abermals auf einen unbekannten Planeten in der nächsten Nähe von Önone, von dem er jedoch nur eine einzige Beobachtung erhielt, weshalb derselbe bis auf weiteres nicht zur Zahl der bekannten gerechnet werden kann.

Während sich Knorre mit dem Aufsuchen von Sibylla beschäftigte, suchte Palisa eifrigst nach der wegen der Größe ihrer Halbachse so interessanten Hilda. Die Nachsuchungen gestalteten sich wegen des ungewöhnlich weiten Himmelsstriches, über den sie ausgedehnt werden mußten, besonders zeitraubend; sie begannen im Anfang April und wurden gleich anfangs durch die Auffindung des Planeten (216) und am 16. Mai auch durch die Wiederentdeckung des gesuchten belohnt.

Die Planetenentdeckungen des Jahres 1880 schloß Palisa am 30. September mit der Auffindung von (219), dem 28. und auch letzten Funde, der diesem rührigen Astronomen im Laufe von nur $6^1/_2$ Jahren in Pola gelungen war, da er kurze Zeit nachher berufen wurde, an der neuen Wiener Sternwarte zu wirken. Auf derselben schien er seine Thätigkeit als Planetenentdecker am 23. Februar 1881 einweihen zu wollen. Doch stellte sich bei den ersten Bahnberechnungen heraus, daß das von ihm aufgefundene Gestirn die seit 1874 verlorene Juewa sei. Er feierte daher erst am 19. Mai mit einem Sternchen kaum 13. Größe seine erste Planetenentdeckung in Wien, die übrigens die einzige des Jahres 1881 geblieben ist; ein Fall, der seit dem Jahre 1859 nicht mehr vorgekommen war und der Hoffnung Raum zu geben schien, daß wir jetzt endlich in eine Periode langsameren Anwachsens der Zahl dieser Himmelskörper eingetreten seien. Doch diese Hoffnung erwies sich bald als eine trügerische, da wir bereits im kommenden Jahre schon wieder elf neue Funde zu verzeichnen haben. Ehe wir indes in der Besprechung der weiteren Entdeckungen fortfahren, wollen wir mit ein paar Worten der Taufe von 4 der letzten, von Palisa in Pola aufgefundenen Planeten (212), (216), (218) und (219) gedenken, die der Entdecker den Wiener Astronomen überließ. Zu diesem Zwecke wurde eine kleine Konferenz veranstaltet, an welcher auch Professor H. Kreutz, der sich damals in Wien befand, teilnahm. Jeder der Anwesenden nannte mehrere ihm passend erscheinende Namen, so daß im Ganzen etwa 30 vorgeschlagen wurden, aus denen nach mehreren Wahlgängen Medea, Kleopatra, Bianca und Thusnelda als gewählt hervorgingen. Den Schluß der Konferenz bildete ein fröhliches Mahl, bei dem auf die Wiederauffindung der neubenannten Himmelsbürger ein Glas geleert wurde.

Mit dem Planeten (227), dem 14., den die Brüder Henry seit 1872 bei Gelegenheit der Fortsetzung der Chacornac'schen Sternkarten in Paris auffanden, schließt deren ersprießliche Thätigkeit auf diesem Felde der Forschung, indem sie sich bald darauf anderen Zweigen der Astronomie zuwendeten. Sie nannten diesen Planeten Philosophia, womit ein neues Prinzip der Benennung, die Verewigung wissenschaftlicher Disciplinen am Himmel, eingeführt wurde, das bei (269) Justitia und (275) Sapientia mit einer geringen Modifikation Nachahmung fand.

Mit der Entdeckung von (239) Adrastea, dem 43. derartigen Funde, der Herrn Palisa am 18. August 1884 gelang, überflügelte dieser rührige Planetenjäger Herrn Professor C. H. F. Peters in Clinton, der seit dem 3. Juni 1875 der fruchtbarste Planetenentdecker, oder nach amerikanischem Sprachgebrauche „the leading discoverer of Asteroids" gewesen war, an welchem Tage er durch die in einer Nacht erfolgte Doppelentdeckung von Vibilia und Adeona seinem früheren Rivalen Dr. R. Luther den Rang abgelaufen hatte.

Die Planetenentdeckungen des Jahres 1884 schloß Palisa durch Auffindung des Planeten (244) Sita, welcher mit (149) Medusa die kleinste Halbachse besitzt,

und die des Jahres 1885, das die stattliche Zahl von 9 neuen Asteroiden lieferte, wieder Palisa, durch (253) Mathilde, welche aber mehrere Wochen hindurch für Erigone (163) gehalten wurde, so daß er seinen 50. Fund in der Planetenwelt schon einige Zeit gemacht hatte, ehe er selbst dies wußte.

Unter den späteren Asteroiden bieten die Verhältnisse, unter denen sie entdeckt wurden, ein größeres Interesse dar, zunächst bei (274) Philagoria und (275) Sapientia. Beide dieser Planeten wurden gelegentlich ausgedehnter Nachsuchungen nach (262) Valda aufgefunden, die am 12. März 1888 ihren Anfang nahmen. Die nächste Revision der an jenem Abende mappierten Himmelsregion wurde wegen trüben Wetters erst am 20. März vorgenommen, wobei sich herausstellte, daß zwar ein Sternchen 12. bis 13. Größe fehle, das aber die gesuchte Valda nicht sein konnte. Infolgedessen wurde die Gegend um den mutmaßlichen derzeitigen Aufenthaltsort des Fremdlings kartographiert. Bei der Vergleichung dieser Aufnahme mit dem Himmel am 3. April zeigte es sich, daß in der am 20. März aufgenommenen Region sich zwar nicht der am 12. März mappierte, wohl aber ein anderer Asteroid, der später den Namen Philagoria enthielt, aufgehalten habe. Im weiteren Verlaufe der Nachforschungen begegnete Palisa weder Valda noch auch dem Planeten vom 12. März, der also als verloren zu betrachten ist, wohl aber noch einem zweiten Planeten (Sapientia), so daß also beim Suchen nach Valda diese nicht wieder gefunden werden konnte, dafür aber an ihrer Stelle eigentlich drei neue entdeckt wurden.

Auch der Planet (279) verdankte seine Entdeckung, wie dies um jene Zeit sehr häufig sich ereignete, nicht einem eigentlichen Suchen nach neuen Planeten, sondern umfassenden Nachsuchungen nach verlorenen, und hier speziell nach (256) Walpurga. Bei der Revision der zu diesem Behufe am 28. September 1888 mappierten Gegend am 24. Oktober, dem ersten hierfür günstigen Abende, stellte sich heraus, daß auf ihr keiner der verzeichneten Sterne fehle, hingegen ein neues, äußerst kleines Sternchen in sie hineingekommen sei, dessen am folgenden Abende konstatierte Ortsveränderung es unzweifelhaft als Planeten charakterisierte.

Der neue Himmelskörper erwies sich bald als einer der interessantesten bisher bekannten Asteroiden. Schon seine langsame Fortbewegung unter den Gestirnen wies darauf hin, daß er eines der entferntesten Glieder dieser Planetengruppe sein müsse, und die bald darauf ausgeführten Bahnberechnungen bestätigten dies im vollsten Maße. Seine Halbachse beträgt nämlich 4·263 Erdbahnhalbmesser, übertrifft daher die bisher größte der Hilda mit 3·957 um 0·306 Erdbahnhalbmesser oder um rund 45 Millionen km. Seinen Umlauf um die Sonne vollendet er erst in 8·80 Jahren und benötiget dazu beinahe um ein Jahr mehr als die obengenannte Hilda, während die beiden sonnennächsten Asteroiden Medusa und Sita sie bereits in 3·21 Jahren umkreisen. Aus diesem Grunde gab ihm, als der Grenzmarke der Asteroidengruppe der Entdecker Palisa den Namen Thule, womit man im Altertum bekanntlich das Ende der Welt bezeichnete.

Wenn wir dem eben mitgeteilten zufolge die Entdeckung von Thule im Grunde genommen einem lange anhaltenden trüben Wetter verdanken, so verdanken wir die Auffindung des folgenden Asteroiden (280) Philia einem noch merkwürdigeren Zufalle. Zur Aufsuchung des Ende Oktober 1888 wieder zur Opposition kommenden Planeten Oppavia hatte nämlich Dr. Berberich in Berlin eine Ephemeride berechnet, die er der Sternwarte in Wien brieflich übersendete. Dr. Palisa fand nun auch in der That am 29. Oktober nahe an dem vorausberechneten Orte ein bewegliches Gestirn, das er infolgedessen selbstverständlich für die gesuchte Oppavia hielt. Die Bewegung desselben in den folgenden Tagen zeigte aber, daß es diese nicht sein könne, und bei der darüber mit Berberich geführten Korrespondenz ergab sich, daß dieser die Deklination der Oppavia um 1^0 falsch kopiert habe. An der so korrigierten Stelle wurde diese nun auch ohne Mühe wiedergefunden: ein Schreibfehler aber hatte inzwischen zur Auffindung eines neuen Planeten geführt.

Mit dem Jahre 1889 tritt Charlois in Nizza in die Reihe der fruchtbaren Planetenentdecker, indem er am 28. Januar, 8. Februar, 29. Mai und 3. August in Sternen 12. bis 13. Größe 4 neue Asteroiden erkannte, wodurch die Zahl der von ihm in den letzten 2 Jahren aufgefundenen Planeten auf 7 stieg. Am Abende des letztgenannten Tages entdeckte auch Palisa einen Asteroiden so nahe gleichzeitig mit Charlois, daß man erst beim Bekanntwerden der Details und der genauen Zeit der Auffindung entscheiden konnte, welchem der beiden die Bezeichnung (285) und welchem die (286) gebühre. Die letztere fiel dem Planeten von Palisa, als dem später entdeckten, zu.

Die Planetenentdeckungen des Jahres 1889 schloß C. H. F. Peters in Clinton am 25. August durch die Auffindung der ungewöhnlich hellen Nephtys (287), welche auch sein letzter Fund ist, indem er am 19. Juli 1890 in seinem 77. Jahre einem Schlaganfalle erlag, der seinem vielbewegten, rastlos thätigen Leben ein jähes Ende bereitete. Die Astronomie verdankt ihm außer der Entdeckung von 48 Asteroiden, von mehreren Kometen und vielen veränderlichen Sternen, eine Reihe anderer wichtiger Arbeiten, von denen wir nur seine Ekliptikalkarten nennen wollen, während eine große Zahl anderer schöner Untersuchungen zu vollenden ihm nicht mehr vergönnt war. Dazu sind vor Allem zu zählen seine zahlreichen, etwa 12 000 betragenden Sonnenfleckenbeobachtungen, sein etwa 75 000 Sterne enthaltender Katalog der Zodiakalsterne, und die von ihm geplante Neuherausgabe des Sternkataloges von Ptolemäus. Was insbesondere die letztere betrifft, scheute Professor C. H. F. Peters bei seinen mehrfachen Reisen nach Europa keine Mühen und Kosten, in allen größeren Bibliotheken die vorhandenen Codices des Ptolemäischen Sternverzeichnisses zu excerpieren, einige der wichtigsten Stellen sogar auch photographisch aufnehmen zu lassen, um durch kritische Vergleichung aller Texte die ursprüngliche Lesart möglichst korrekt wieder herzustellen: eine Arbeit, zu welcher ihn sein außergewöhnliches Sprachentalent in ganz ungewöhnlich hohem Maße befähigte.

Die dritte Centurie der Asteroiden wurde im Oktober 1890 erreicht, ja sie war sogar überschritten worden, ehe man dies erkannte. Von den beiden Planeten (297) Cäcilia und (298) Baptistina, welche Charlois am 9. September aufgefunden hatte, gelangen ihm nämlich vom letztgenannten bloß am 9. 10. und 16. September Beobachtungen, indem der zunehmende Mond eine weitere Verfolgung desselben hinderte. Am 3. Oktober fand aber Charlois nahe an der Stelle, an welche Baptistina hingewandert sein mußte, abermals einen Asteroiden, den er selbstverständlich für den gesuchten hielt. Ein am 6. Oktober von Palisa gefundener erhielt daher die Bezeichnung (299).

Mit der Weiterverfolgung der Baptistina betraute Charlois einer Ferialreise wegen Palisa, der das Gestirn auch am 11. und 22. Oktober beobachtete. Dabei fiel ihm wohl sofort ein sehr auffallender Sprung in der scheinbaren Bewegung desselben zwischen September 16 und Oktober 3, und zwischen Oktober 3 und 22 auf: er beachtete indes diesen Umstand nicht weiter, sondern schrieb ihn einem Versehen in einer der mittleren Beobachtungen zu. Eine bald darauf von Berberich vorgenommene Bahnbestimmung zeigte jedoch, daß kein Versehen vorliege, die Diskontinuität vielmehr daher rühre, daß der am 3. 11. und 22. Oktober beobachtete Planet ein anderer war als der am 9. September entdeckte.

Nach dem Oktober-Vollmonde nahmen Palisa und Charlois neuerdings Nachsuchungen nach den verlorenen Baptistina auf, der erstere vergeblich, der letztere aber, wie es schien, mit glücklichem Erfolge, indem er am 14. November wieder einen Planeten auffand, den er für den gesuchten hielt und bis Mitte Dezember verfolgte. Eine um jene Zeit ausgeführte Bahnberechnung führte jedoch zu dem überraschenden Resultate, daß auch dieser Planet wieder nicht der gesuchte, sondern ein neuer, bisher unbekannter gewesen sei, während inzwischen Palisa in Wien am 16. November noch auf ein bewegliches Gestirn gestoßen war. Da aber die Verschiedenheit von Baptistina mit dem Planeten vom 3. Oktober erst lange nach der Auffindung des vom 6. Oktober, und deren Verschiedenheit von dem Planeten vom 14. November wieder erst lange nach der Auffindung des vom 16. November erkannt wurde, schlug Krüger zur Vermeidung vielfacher Umnumerierungen vor, auch hier denselben Vorgang einzuhalten, der bei einigen früheren ähnlichen Vorkommnissen eingehalten worden war, nämlich den Planeten vom 6. Oktober und 16. November die Bezeichnung (299) und (301) zu belassen, und denen vom 3. Oktober und 14. November die Zeichen (300) und (302) zu geben, was allgemein angenommen wurde.

Von Mitte November 1890 an trat wohl infolge des ungewöhnlich langen und trüben Winters ein längerer Stillstand in den Planetenentdeckungen ein; doch wurde das Versäumte während des folgenden Frühjahres, in welchem zwischen dem 12. Februar und 11. Juni 9 dieser Gestirne, noch mehr aber während der schönen Herbstmonate, wo innerhalb der 6 Wochen zwischen dem 28. August und

15. Oktober abwechselnd von Charlois und Palisa sogar 10 aufgefunden wurden, so reichlich eingeholt, daß mit 2 weiteren Planeten, die noch im Spätherbste dazukamen, dieses Jahr an Reichhaltigkeit von Planetenfunden alle seine Vorgänger übertraf. Am Ende desselben war die Zahl der Planeten in einer Gegend unseres Sonnensystemes auf 323 angewachsen, in der man vor 50 Jahren deren nur 4 kannte.

§ 68. (Rückblick.) Das Jahr 1891 bildet so wie 1845 wieder einen bedeutsamen Markstein in der Geschichte dieser Planetengruppe: wir wollen daher diese Gelegenheit zu einem kurzen Rückblicke benützen.

Sieht man an der Hand der Tabellen am Schlusse des Werkes die Planetenentdeckungen der letzten 3 Lustren (von 1891 an zurückgezählt) durch, so bemerkt man, daß in den beiden ersten derselben eigentlich nur die Astronomen in Marseille Peters und Palisa, und im letzten nach Peters Tode nur mehr Palisa und Charlois als Planetenentdecker auftreten. Dies weist darauf hin, daß während der genannten Epoche die Entdeckung dieser Himmelskörper nicht nur bereits den Liebhabern der Sternkunde, sondern auch den Astronomen im Allgemeinen entwunden war. Es steht dies damit im Zusammenhange, daß die helleren Glieder dieser Gruppe schon nahezu aufgefunden waren, und nur noch eine wohl sehr zahlreiche Nachlese von schwächeren erübriget, deren Aufsuchen nicht nur an und für sich schwieriger ist, sondern überdies auch Instrumente von einer optischen Kraft erfordert, wie sie mindestens jetzt nur noch wenigen Astronomen zur Verfügung stehen. So konnte sich Tempel mit seinem schwachen Fernrohre, das, wie bereits oben erwähnt wurde, nicht einmal die einfachsten Meßapparate besaß, mit Erfolg an den Asteroidenentdeckungen bloß bis zum Schlusse des ersten Hundertes derselben beteiligen. Ähnlich liegen auch die Verhältnisse bei einem Veteranen auf diesem Gebiete, Professor Dr. R. Luther, einem der ersten Astronomen, welche um die Mitte unseres Jahrhundertes sich das systematische Aufsuchen neuer Planeten zur Aufgabe stellten. Er fand vom 17. April 1852 bis 27. September 1873 nicht weniger als 20 Asteroiden auf, und blieb vom Jahre 1865 bis Mitte 1875 der fruchtbarste Planetenentdecker, wo er von C. H. F. Peters überholt wurde. Daß er mit dem obengenannten und dessen jüngeren Rivalen Palisa nicht mehr gleichen Schritt halten konnte, liegt eben auch nur an den ungenügenden Mitteln, über die er verfügt. Luther besaß nämlich bis 1883 nur ein Instrument von 11 cm Öffnung, das noch dazu nicht einmal parallaktisch montiert war, während Peters über ein Fernrohr von 34 cm disponierte, und Palisa anfänglich zwar auch nur an einem Instrumente von 16 cm, aber in Pola unter dem reinen Himmel der Adria beobachtete. 1884 erhielt zwar Luther ein etwas stärkeres Fernrohr, und mit diesem entdeckte er in den folgenden Jahren in der That wieder mehrere Asteroiden, bis auch dieses dazu zu schwach wurde; ja in den letzten Jahren dieser Periode konnten selbst die Astronomen der Marseiller Sternwarte mit den durch ihre weit mächtigeren Instrumente

unterstützten der Sternwarten in Wien und Nizza einen ebenbürtigen Wettkampf nicht mehr bestehen.

Nachdem von 1845 bis Ende 1850 zu den 4 alten noch 11 weitere Asteroiden aufgefunden worden waren, stellt sich die Zahl der Entdeckungen in den folgenden 40 Jahren, wie folgt dar:

Jahr	Zahl	Jahr	Zahl	Jahr	Zahl	Jahr	Zahl
1852	8	1862	5	1872	11	1882	11
1853	4	1863	2	1873	6	1883	4
1854	6	1864	3	1874	6	1884	9
1855	4	1865	3	1875	17	1885	9
1856	5	1866	6	1876	12	1886	11
1857	9	1867	4	1877	10	1887	7
1858	5	1868	12	1878	12	1888	10
1859	1	1869	2	1879	20	1889	6
1860	5	1870	3	1880	8	1890	15
1861	10	1871	5	1881	1	1891	21

Zieht man der Übersicht wegen die Zahl der Entdeckungen auf Decennien zusammen, so wurden aufgefunden:

1852 bis 1861 . . . . 57 Asteroiden
1862 = 1871 . . . . 45 =
1872 = 1881 . . . . 103 =
1882 = 1891 . . . . 103 =

Das übermäßig rasche Anwachsen dieser Planeten brachte, wie wir dies oben an vielen Beispielen sahen, schon bei Daphne im Jahre 1856 und von da an, in immer höherem Maße die Gefahr mit sich, die neu erkannten Himmelskörper wieder zu verlieren, so daß dieselben nur durch eine förmliche Wiederentdeckung zu bleibenden Errungenschaften wurden, während eine Reihe anderer noch ihrer Wiederentdeckung harren. Dies trifft unter den ersten 300 im Ganzen 12 Asteroiden, und zwar unter dem ersten Hundert bloß einen (Dike), unter dem zweiten 6 und unter dem dritten 5. Die Zahl von Beobachtern und Rechnern an den verschiedenen Sternwarten ist eben für die außerordentliche Zunahme an Arbeit, welche ihnen durch die genaue Konstatierung und Verfolgung dieser Funde zufällt, nicht bemessen, weshalb oft nur wenige Positionen und bloß beiläufige Bahnbestimmungen zustande gebracht werden können. Die starken Störungen, denen gerade diese Himmelskörper ausgesetzt sind, und deren verhältnismäßige Nähe, durch welche uns jede Änderung ihres Ortes sehr fühlbar wird, machen die Aufsuchung dieser in der Regel ohnehin nur mit großen Fernrohren sichtbaren Gestirne, wenn einmal mehrere Erscheinungen unbenutzt vorübergingen oder eine erste Erscheinung unvollständig bearbeitet wurde, äußerst schwierig. Dann bedarf es einer ganz besonderen Anstrengung und Umsicht der Rechner, wenn das Versäumte nachgeholt und aus dem lückenhaft vorliegenden

Materiale der Ort des Himmels, wo der Planet zu erwarten ist, mit irgend hinreichender Näherung angegeben werden soll. Es stellte sich so nach und nach eine ganz neue Art von Verdiensten um die Astronomie ein, nämlich: das Wiederzustandebringen von Gestirnen jener Kategorie, die man entweder bereits verloren gegeben hatte, oder deren Auffindung bei späteren Erscheinungen mehr oder weniger fraglich gewesen war, wofür wir oben zahlreiche Beispiele anführten.

Bei dem Nachsuchen nach verlorenen Planeten mußten naturgemäß oft weite Himmelsstrecken mappiert und wiederholt revidiert werden. Infolgedessen traten nach und nach immer häufiger die anfangs vereinzelten Fälle auf, wo man dabei auf neue Planeten stieß: ja wir haben wiederholt Beispiele kennen gelernt, daß zwar nicht der Gesuchte, dafür aber sogar mehrere neue gefunden wurden. Ein nicht unerheblicher Teil der Asteroiden des letzten Jahrzehntes verdankt daher seine Entdeckung nicht eigentlich einem vorsätzlichen Suchen nach neuen Planeten, sondern den Bemühungen, bereits aufgefundene zu erhalten. Übrigens darf die Wiener Sternwarte, speziell Dr. Palisa, außer der Entdeckung zahlreicher Körper dieser vielgliedrigen Planetenfamilie auch noch zum großen Teile das Verdienst für sich in Anspruch nehmen, daß, wie aus dem obigen ersichtlich ist, in den letzten Jahren die Zahl der in Verlust geratenen Asteroiden beim riesigen Anschwellen derselben auf ein so geringes Maß beschränkt blieb: die Wiener Sternwarte hat sich nämlich unter Anderem auch die Aufgabe gestellt, alle neu entdeckten Asteroiden möglichst lange zu verfolgen, um die zeitraubenden Arbeiten, welche mit dem Wiederaufsuchen ungenügend lange beobachteter Planeten sowohl für den rechnenden als auch für den beobachtenden Astronomen verknüpft sind, auf ein möglichst geringes Maß zurückzuführen.

Das rasche Anwachsen der Zahl der Asteroiden hat aber auch in der Art der Bearbeitung derselben schon mehrfach Änderungen bedingt. Als nämlich in der Mitte unseres Jahrhunderts die Asteroidenentdeckungen sich häuften, stellte sich die Berliner Sternwarte, respektive die Redaktion des Berliner Jahrbuches die dankenswerte, aber schwierige Aufgabe der Evidenzhaltung dieser Gestirne, nämlich die Aufgabe, rechtzeitig für die Herstellung von Elementen und die Vorausberechnung des Ortes dieser Himmelskörper Sorge zu tragen. Sie war auch mit Anspannung aller ihrer Kräfte und durch die freundliche Mitwirkung einer großen Zahl meist jüngerer Astronomen in der Lage, etwa 20 Jahre hindurch allen billigen Anforderungen gerecht zu werden. Als aber im Anfange der Siebziger-Jahre die Anzahl der Asteroiden nahezu auf 150 angeschwollen war, war es nicht weiter möglich, ein solches Riesenmaterial größtenteils durch freiwillige Beiträge zu bewältigen: man kann daher die Liberalität der preußischen Regierung nicht hoch genug schätzen, daß sie im Jahre 1873 vornehmlich zum Zwecke der Bearbeitung der Asteroiden ein eigenes Recheninstitut gründete.

Dieses Rechenbureau gab nun außer den im Berliner Jahrbuche von den älteren Asteroiden enthaltenen Vorausberechnungen vom Jahre 1874 an zweimal

im Monate Zirkulare heraus, welche eine Zusammenstellung der neuesten Planetenbeobachtungen, sowie Elemente und Ephemeriden der neu entdeckten Asteroiden enthielten. Dies erleichterte nicht nur wesentlich das Weiterverfolgen der neuen Planeten, sondern ließ auch durch einen Blick auf die vorhandenen Beobachtungen sofort erkennen, für welche dieser Himmelskörper fernere Beobachtungen besonders erwünscht wären. Doch auch die Kräfte und Mittel des Rechenbureaus reichten für eine stetige erschöpfende Bearbeitung aller Asteroiden nicht lange aus. Man mußte sich nach und nach darauf beschränken, genaue Vorausberechnungen bloß für die neu entdeckten und jene Asteroiden zu liefern, deren Bahn noch mit einer erheblichen Unsicherheit behaftet ist, um die zur Verbesserung ihrer Elemente nötigen Beobachtungen zu ermöglichen. Von den älteren, besser bekannten Asteroiden hingegen wurden nur ganz rohe Ephemeriden zu dem Zwecke gegeben, um beim Stoßen auf einen beweglichen Himmelskörper entscheiden zu können, ob er ein bereits bekannter oder ein neuer Planet sei; auf eine genaue Berechnung der Störungen, die sie erleiden und eine Verbesserung ihrer Bahnelemente durch Hinzuziehen neuer Beobachtungen mußte aber ganz verzichtet werden. Die Folge davon ist nun naturgemäß die, daß wir, von vereinzelten Ausnahmen abgesehen, die Bahn keines Asteroiden mehr mit einer Genauigkeit kennen, die dem heutigen Stande der Wissenschaft entspricht und erlauben würde, mit ihr theoretische Untersuchungen, beispielsweise eine Bestimmung der Jupitersmasse und dergleichen, auszuführen. Um diesem wenig befriedigenden Zustande ein Ende zu machen, hat sich daher die Redaktion des Berliner Jahrbuches entschlossen, vor Allem eine tiefergehende Bearbeitung des vorhandenen Materiales für jene Planeten anzustreben, die, sei es aus theoretischen, sei es aus anderen Gründen, ein erhöhtes Interesse beanspruchen, während die übrigen Planeten und die neueren Entdeckungen fernerhin nur soweit Berücksichtigung erfahren sollen, als dies auch für andere wichtige astronomische Untersuchungen von Belang sein könnte. Um dies Ziel zu erreichen, wurde vom Jahre 1890 ab die Herausgabe der Planetenzirkulare sistiert; ferner wurde auch die Berechnung der Jahresephemeriden eingestellt, indem jetzt nur noch für den Tag der Opposition der Ort und die Helligkeit der Asteroiden nebst deren genäherter Bewegung während dieser Zeit angegeben wird; endlich werden genaue Berechnungen überhaupt nur für solche Asteroiden ausgeführt, welche:

1. der Erde nahe kommen und sich daher zur Parallaxenbestimmung besonders eignen;
2. dem Jupiter nahe kommen und daher zur Bestimmung von dessen Masse verwendet werden können;
3. sich durch eine Umlaufszeit auszeichnen, die zu der des Jupiter in einem nahe kommensurablen Verhältnisse steht, da derartige Bahnen bekanntlich für die Theorie der absoluten Störungen von hervorragender Bedeutung sind;

4. eine größere Helligkeit erreichen, und demzufolge für photometrische Zwecke von Wert sein können.

Der erste Erfolg dieser Maßnahmen scheint ein ganz unerwarteter gewesen zu sein. Der Umstand nämlich, daß sich mit dem ins Lebentreten derselben die Zahl der Planetenentdeckungen gegenüber deren Mittelwert im letzten Decennium sofort mehr als verdoppelte, ist zu auffallend, als daß man nicht versucht wäre, ihn damit in Zusammenhang zu bringen. Eine plausibele Erklärung hierfür liegt auch nahe. Das Fehlen von Ephemeriden für die älteren Asteroiden erschwerte oder machte vielmehr die Beobachtung derselben unmöglich: die Planetenjäger hatten daher jetzt mehr Zeit und Muße als früher, sich nach neuen Planeten umzusehen — und entdeckten infolgedessen auch mehr. Andrerseits läßt sich aber garnicht verkennen, daß durch die so weit gehenden Restriktionen der Zustand unserer Asteroiden-Astronomie noch unbefriedigender wurde, und binnen kurzem ein trostloser zu werden droht. Es hat sich deshalb auch die internationale astronomische Gesellschaft im Jahre 1891 während ihrer Versammlung zu München eingehend mit diesem Gegenstande beschäftigt. Die diesbezüglichen Besprechungen und Vorarbeiten wurden aber vorläufig nicht weitergeführt, weil kurze Zeit nachher die Photographie zur Aufsuchung von Asteroiden in Anwendung gebracht wurde, und, wie leicht ersichtlich ist, keine lebensfähigen Einrichtungen für eine dauernde Abhilfe getroffen werden können, ehe genügende Erfahrungen über die Tragweite und Bedeutung der neuen Entdeckungsmethode vorliegen.

§ 69. (Dritte Epoche der Asteroidenentdeckungen.) Am Schlusse des Jahres 1891 wurde das Aufsuchen von Asteroiden mittelst der Photographie in der Astronomie eingeführt, und damit eine neue Etappe in der Geschichte der Entdeckung dieser Himmelskörper begründet. Wohl waren schon früher wiederholt vereinzelte Versuche zur Wiederauffindung verloren gegangener Asteroiden mit Hilfe der Photographie, und zwar mit Glück gemacht worden, wie beispielsweise von W. Roberts, der auf diese Art im Jahre 1886 die bereits in mehreren Oppositionen nicht beobachtete Sappho wiederfand. Zum Aufsuchen neuer Planeten sind aber die Fernrohre, die damals bei der Himmelsphotographie verwendet wurden, ihrer langen Brennweiten wegen wenig geeignet, weil infolge derselben auf einer Platte bloß ein verhältnismäßig kleiner Raum des Himmels abgebildet erscheinen kann. Das Verdienst, zu diesem Zwecke gewöhnliche photographische Objektive eingeführt und dadurch ein systematisches Aufsuchen von Asteroiden mit Hilfe der Photographie in der Astronomie eingeleitet zu haben, gebührt Dr. Max Wolf in Heidelberg. Die Anwendung kurzer Brennweiten gewährt aber, außer der Möglichkeit, größere Partien des Himmels auf einmal aufzunehmen, noch den weiteren Vorteil der Verkürzung der Expositionszeit. Denn die Intensität der Wirkung auf eine sensibele Platte hängt nicht von der Größe des Objektives, sondern nur von dem Verhältnis der Objektivöffnung zur Brennweite ab; zwei Objektive von verschiedener Größe, bei denen dieses Verhältnis

dasselbe ist, wirken photographisch gleich schnell. Der Unterschied besteht nur darin, daß bei einem größeren Objektive die Bilder in demselben Maße größer ausfallen, also beispielsweise bei einem doppelt so großen doppelt so groß, so daß bei einem solchen die Entfernung zweier Sterne auf der Platte die doppelte ist. Es erleichtert daher ein größeres Objektiv nur die Ausmessung der Platte, und das Erkennen von etwaigen Veränderungen, die während der Expositionszeit eingetreten sind. Der Vorgang beim Aufsuchen von Asteroiden mittelst der Photographie gestaltet sich nämlich wie folgt.

Die sensitive Platte wird durch 1 bis 2 Stunden exponiert, wobei das Objektiv stets nach demselben Punkte des Himmels gerichtet bleiben muß. Dies erreicht man dadurch, daß der Apparat durch ein Triebwerk der täglichen Bewegung des Sternenhimmels entsprechend fortbewegt wird, während der Beobachter an einem mit dem photographischen Apparate fest verbundenen, also mit demselben sich gleichmäßig fortbewegenden Fernrohre den Gang des Triebwerkes kontrolliert und etwaige Unregelmäßigkeiten in demselben sofort mittelst geeigneter Vorrichtungen korrigiert. Es fallen deshalb die Bilder der Fixsterne stets auf dieselbe Stelle der Platte und bilden sich auf derselben je nach ihrer Helligkeit als größere oder kleinere runde Scheiben ab: hingegen erscheint das Bild eines zwischen den Fixsternen sich bewegenden Asteroiden in Gestalt einer Linie. Da sich nun hier der Lichteindruck auf der sensitiven Platte nicht auf einen Punkt konzentriert, sondern auf eine Linie verteilt, ist die Helligkeitsgrenze der auf der Platte sichtbaren Sterne und Planeten sehr stark zu Ungunsten der letzteren verschoben: es sind daher für derartige Untersuchungen solche Objektive besonders brauchbar, welche möglichst rasch wirken, und dies sind dem obigen zufolge Objektive von sehr kurzer Brennweite. Es empfiehlt sich übrigens im Laufe derselben Nacht, oder besser in der nächstfolgenden klaren noch eine zweite Aufnahme derselben Gegend des Himmels auszuführen, um nicht durch einen zufälligen Fehler der Platte irre geführt zu werden, und um die tägliche Bewegung des Gestirnes einigermaßen sicher zu erhalten.

Durch die Einführung der photographischen Methode hat, wie man sieht, die Art der Auffindung von Asteroiden eine neue Gestalt angenommen. Früher wurde zu diesem Zwecke eine mühsame Vergleichung des Himmels mit einer sehr genauen Sternkarte der betreffenden Gegend vorgenommen, wobei sich ein in dieser befindlicher Planet dadurch zu erkennen gab, daß an einer leeren Stelle der Karte ein Stern angetroffen wurde. Um sich von der planetarischen Natur dieses Gestirnes eine vollständige Überzeugung zu verschaffen, wurde dann womöglich noch in derselben Nacht durch weitere Beobachtungen eine Ortsveränderung desselben konstatiert. Jetzt hingegen ist die Auffindung eines Asteroiden so zu sagen in die Studierstube, nämlich auf das sorgfältige Absuchen einer Platte nach den auf ihr vorhandenen Strichen, verlegt worden.

Die ersten Vorversuche zu Himmelsaufnahmen mit Linsen von kurzer

Brennweite machte Dr. Max Wolf in den Herbstmonaten 1891, und nachdem er sich dabei von der Brauchbarkeit solcher Linsen zu diesem Zwecke überzeugt hatte, schritt er Mitte Dezember zur Aufsuchung des seit der Entdeckungsopposition in 1888 nicht wieder gesehenen Planeten (275) Sapientia. Er wählte diesen Planeten hauptsächlich deshalb, weil er zur Zeit seiner Entdeckung 10. Größe, also verhältnißmäßig hell gewesen war, und der Rechnung zufolge in der Opposition von 1891 wieder nahe dieselbe Helligkeit erreichen sollte, so daß man gerade bei ihm auf einen günstigen Erfolg der Nachsuchungen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit hoffen durfte. Es gelang ihm auch in der That den Planeten am 22. Dezember wiederzufinden, aber wahrscheinlich eines kleinen Rechenfehlers wegen in einer so großen Abweichung vom vorausberechneten Orte, daß seine Auffindung bei dieser Opposition wegen seiner Stellung in der Milchstraße auf dem bisherigen Wege einfach als unmöglich bezeichnet werden muß. Gleichzeitig wurde aber auf derselben Platte noch ein zweiter, neuer Planet aufgefunden, der letzte des Jahres 1891. Er trägt die Bezeichnung (323) und erhielt vom Entdecker in dankbarer Anerkennung der großen Verdienste, die sich Miß Bruce in New York durch ihre namhaften Spenden für verschiedene astronomische Forschungen um die Sternkunde erworben hat, den Namen Brucia, konnte aber seither nicht wieder aufgefunden werden.

Das Durchsuchen einer Platte nach den auf derselben enthaltenen Planeten und Messen von deren Position ist eine so mühsame und zeitraubende Arbeit, daß es leicht mehrere Tage beanspruchen kann. Wenn daher während einer länger andauernden Periode heiteren Wetters eine größere Zahl Platten gewonnen wird, kann der Beobachter mit dem Ablesen derselben nicht gleichen Schritt halten. Manche gelangen daher erst mehrere Tage, ja selbst Wochen nach ihrer Aufnahme zur Untersuchung, was das Auffinden der auf ihnen vorhandenen Asteroiden natürlich ebensolange verzögert. Beim Festhalten an der bisher üblichen Gepflogenheit, den Asteroiden gleich eine definitive Nummer nach der Zeitfolge ihrer Entdeckung zu geben, wäre eine häufige Änderung dieser Nummer, zum Teil erst nach mehreren Wochen die unausweichliche Folge gewesen und damit eine Quelle um so zahlreicherer Irrungen entstanden, als sich durch das Heranziehen der Photographie die Zahl der neuen Funde enorm steigerte. Dies stellte sich auch bald nach den ersten Asteroidenentdeckungen auf photographischem Wege heraus und veranlaßte den Herausgeber der „Astronomischen Nachrichten", im Einverständnisse mit dem Vorstande des Berliner Recheninstitutes für die neu aufgefundenen Asteroiden zunächst eine provisorische Bezeichnung durch die großen Buchstaben des lateinischen Alphabetes, A, B, C . . . . einfach nach der Zeitfolge des Einlaufens der Nachricht ihrer Entdeckung einzuführen. Die definitive Numerierung wird, und zwar gruppenweise, erst dann angenommen, wenn die Beobachtungen während dieser Erscheinung bereits längere Zeit geschlossen sind, und eine genaue Untersuchung erfolgt ist, ob unter den registrierten Asteroiden

nicht etwa ein oder der andere ältere Verlorene sich befindet. Außerdem erhalten auch alle jene Planeten, welche nicht hinreichend oft beobachtet wurden, um eine wenigstens einigermaßen sichere Bahnbestimmung zu gestatten, von nun an keine Nummer mehr. Diese Einschränkung entspricht dem bisherigen Gebrauche: sie ist aber jetzt um so mehr geboten, weil die Ungunst der Witterung nicht selten das Abnehmen einer zweiten Platte derselben Himmelsgegend längere Zeit hindurch hindert, was das Wiederauffinden eines photographisch aufgenommenen Planeten sehr erschwert, weil über seine Bewegung nichts Näheres bekannt ist. Infolgedessen sind auch namentlich in der ersten Zeit, wo man in dieser Richtung noch keine entsprechenden Erfahrungen hatte, ziemlich viel photographisch aufgefundene Planeten nach ihrer ersten Aufnahme überhaupt nicht wiedergesehen worden.

Die oben besprochenen Grundsätze wurden um die Mitte Juli 1892 vereinbart, und bereits in der letzten Hälfte des August in Anwendung gebracht. Professor Max Wolf hatte indes mit Einrechnung von Brucia inzwischen 17 Asteroiden aufgefunden, von denen sich einer später als Baptistina entpuppte, und außerdem nur noch 5 hinreichend oft beobachtet worden waren, um eine Bahnbestimmung zu ermöglichen, so daß davon nur diese letzteren eine Nummer erhielten, die übrigen 11 keine, nachträglich aber auch keine provisorische Bezeichnung mehr. Sie sind deshalb so gut wie verschollen, während seither wenigstens ein Buchstabe die Erinnerung an die ungenügend beobachteten festhält.

Anfänglich war beabsichtigt, bei jedem Jahreswechsel mit dem Alphabete von neuem anzufangen. Es zeigte sich aber bereits im Jahre 1893, daß man mit einem Alphabete in einem Jahre nicht immer das Auslangen finden werde; um daher Irrungen und Weitläufigkeiten zu vermeiden, ist man weiters übereingekommen, wohl 1893 nochmals mit A zu beginnen, von da an aber ununterbrochen fortzufahren, und nach Erschöpfung des Alphabetes auf die Doppelbezeichnung AA, AB, AC, u. s. w. zu greifen. Wir sind übrigens zu der Zeit, in welcher diese Zeilen niedergeschrieben werden (Anfang Juni 1895) nicht nur bereits am Schlusse des ersten Doppelalphabetes, sondern sogar schon knapp am Ende des zweiten BA, BB, BC, u. s. w. angelangt.

Die Verhältnisse, unter denen bisher die Entdeckung von Asteroiden mit Hilfe der Photographie gelang, bieten, wie nach den obigen Auseinandersetzungen leicht erklärlich ist, keinerlei interessante Momente dar: wir wollen uns daher, um unsere Leser nicht durch fortwährende Wiederholung fast identischen trockenen Details zu ermüden, mit ein paar allgemeinen Bemerkungen über dieselben begnügen.

Nach der Ende Dezember 1891 auf photographischem Wege gelungenen Auffindung der Brucia wurden in der ersten Hälfte von 1892 noch je 2 Asteroiden von Palisa und Charlois auf die alte Art, durch Vergleichen von Sternkarten mit dem Himmel entdeckt, wodurch die Zahl der Funde des ersteren 83, die des letzteren 27 erreichte. Seither haben beide Herren das Aufsuchen der

Asteroiden nach dieser Methode als mit der neuen nicht konkurrenzfähig aufgegeben, und es wurden deshalb nach der alten Methode nur noch 3 aufgefunden, zwei, (369) am 5. Juli 1893 und (394) am 19. November 1894 von Borelly in Marseille, und einer (390) am 24. März 1894 von Bigourdan in Paris.

Durch absichtliches Suchen nach Asteroiden sind mit Hilfe der Photographie solche bisher nur von Wolf und Charlois aufgefunden worden, mit Ausnahme von (335), auf den Herr Dr. Stauß, ein Mitarbeiter von Wolf stieß. Außerdem sind aber auf diese Art bereits wieder eine bedeutende Zahl von Planeten zufällig gefunden worden: und zwar zwei (384) und (387) von Courty in Bordeaux bei Gelegenheit von Aufnahmen für die große, auf photographischem Wege herzustellende Sternkarte des Himmels, einer AW von Wilson zu Northfield (Minn.) bei Aufnahmen der Plejadengruppe zum Zwecke des Studiums der in ihr befindlichen Nebelmassen, und einer BO von Roberts beim Photographieren eines Herschel'schen Nebelfleckes. Die beiden letzten Planeten wurden aber bei der definitiven Bezeichnung mit keiner Nummer versehen, weil von ihnen nicht genug Beobachtungen zu einer Bahnbestimmung erhalten wurden; der vorletzte ist, nebenbeigesagt, der erste und bisher einzige Planet, der in Amerika mittelst Photographie aufgefunden wurde. Außerdem fanden sich bei nachträglichen Messungen auf Clichés, welche die Brüder Henry zwischen dem 2. Oktober 1891 und 15. März 1893 in Paris für die Himmelskarte angefertigt haben, 40 Planeten, und auf späteren noch weitere 4 vor. Welche von diesen Positionen schon bekannten, welche neuen Asteroiden angehören, ist noch nicht näher untersucht: die letzteren sind übrigens sämtlich vorläufig als verloren zu betrachten, da von ihnen nur ein Ort vorliegt.

Stellen wir nun die von Wolf und Charlois photographisch ermittelten Planeten zusammen, so muß vorher noch vorausgeschickt werden, daß Wolf bei einer späteren sorgfältigen Revision auf seinen zwischen dem 28. November und dem Schlusse des Jahres 1891 aufgenommenen Platten, außer Brucia noch 6 neue Asteroiden auffand, die aber mit Ausnahme eines, der im Jahre 1893 photographisch wiedergefunden wurde, in Verlust geraten sind. Dies vorausgeschickt wurden aufgefunden:

	Wolf	Charlois	zus.	Bahnbest. unmögl.
1891 Nov. 28. bis Dez. 31.	7	.	7	5
1892	17	11	28	6
1893	7	26	33	8
1894	6	11	17	1
1895 Jan. 1. bis Mai 31.	3	2	5	1
1891 Nov. 28. bis 1895 Mai 31.	40	50	90	21

Es sind daher von Ende November 1891 bis Ende Mai 1895 von Wolf und Charlois 90 Asteroiden auf photographischem Wege aufgefunden worden. Rechnet man dazu die 4 während dieser Zeit von anderen photographisch und die 7 nach der alten Methode entdeckten, so erhält man für die $3^1/_2$ Jahre die enorme

Zahl von 101 Neuentdeckungen, selbst wenn man die oben erwähnten 44 pariser Planeten unberücksichtigt läßt. Von diesen 101 Funden sind aber vorerst nur 78 als eine bleibende Errungenschaft zu betrachten, da aus Mangel an genügenden Daten für 21 Planeten von Wolf und Charlois und je einen von Roberts und Wilson nicht einmal genäherte Elemente hergestellt werden konnten: die vierte Centurie ist indes trotzdem bereits überschritten, da der letzte, bisher definitiv eingereihte Planet BW schon das Zeichen (402) trägt. Einen interessanten Überblick über die Entwickelung unserer Kenntnis der Asteroidenzone giebt folgendes kleine Tableau. Es wurde entdeckt:

(1) Ceres	am 1. Jänner	1801	(201) Penelope	am 7. August	1879
(51) Nemausa	= 22. =	1858	(251) Sophia	= 4. Oktober	1885
(101) Helena	= 15. August	1868	(301) Bavaria	= 16. November	1890
(151) Abundantia	= 1. November	1875	(351) V	= 16. Dezember	1892

(401) BT am 16. März 1895.

Die große Beschleunigung im Auffinden des vierten Hunderts ist allein der Photographie zu danken, die wohl noch vor der Säcularfeier der Entdeckung der Ceres uns zur Kenntnis von mehr als 500 Gliedern dieser Gruppe verhelfen dürfte.

Außer zahlreichen Neuentdeckungen verdanken wir aber der photographischen Aufsuchungsmethode von Planeten auch bereits die Wiederauffindung mehrerer seit ihrer ersten Erscheinung nicht wiedergesehenen Planeten, die ohne deren Hilfe wohl noch lange verloren geblieben wären. Darunter sind besonders zu nennen (163) Erigone, (175) Andromache und (203) Pompeja, welche seit ihrer im Jahre 1876 beziehungsweise 1877 und 1879 erfolgten Entdeckung 16 Jahre hindurch nicht wiedergesehen wurden: ferner (228) Agathe, von der 7 Oppositionen unbeobachtet vorübergingen u. s. w.

Unter den auf photographischem Wege erkannten Asteroiden kommen einige mit sehr bemerkenswerten Elementen vor. In dieser Hinsicht ist zunächst zu erwähnen, daß eine größere Anzahl derselben eine sehr bedeutende Neigung gegen die Ekliptik aufweist, und der eine von ihnen: (372) eine so große besitzt, daß sie nur von der der Pallasbahn übertroffen und von der der Bahnen von Euphrosyne und Istria eben noch erreicht wird. Zwei andere Planeten (323) Brucia und (361) scheinen die Grenze des Asteroidengürtels, der eine nach innen, der andere nach außen, etwas hinauszuschieben. Nach den vorhandenen Elementen ist nämlich der Perihelabstand der Brucia nur 1·564 Einheiten der Erdbahnhalbachse, während die Apheldistanz von (361) auf 4·772 ansteigt: das Perihel der ersteren läge demnach innerhalb der Marsbahn, und das Aphel der letzteren noch um 0·16 Erdbahnhalbachsen weiter von der Sonne entfernt, als die Aphele von Hilda, Ismene und Thule. Die Elemente sind indes noch so unsicher, daß bei der Wiederauffindung der beiden Planeten diese Zahlen noch sehr erhebliche Modifikationen erleiden können.

Eine recht interessante Bemerkung hat Berberich an der Bahn des Planeten (334) Chicago gemacht, der im Jahre 1894 sich dem Jupiter nahezu bis auf die Entfernung der Erde von der Sonne näherte, wodurch seine Bahn erhebliche Störungen erfuhr, die unter anderem deren ohnehin sehr geringe Excentricität noch stetig verminderten. Diese Excentricität betrug nämlich:

1892	Dez.	8	. . . .	0·0090
1893	Nov.	16	. . . .	0·0037
1894	Febr.	4	. . . .	0·0025

Der Gang dieser Zahlen läßt unschwer erkennen, daß die Excentricität in der letzten Hälfte des Jahres 1894 durch Null hindurchgegangen ist, womit die Länge des Perihels sprungweise um 180° sich änderte.

Doppelauffindungen eines und desselben unbekannten Asteroiden mit Hilfe der Photographie kamen bisher erst zweimal vor. Dies ist aber lediglich eine Folge des Umstandes, daß sich bisher bloß zwei Astronomen: Wolf in Heidelberg und Charlois in Nizza der Photographie zum Aufsuchen dieser Gestirne bedienen, und daß beide Herren überdieß aus verschiedenen Ursachen nur sehr selten gleichzeitig arbeiteten, wie man leicht aus den Tabellen am Schlusse des Werkes erkennt.

§ 70. (Anzahl der Asteroiden.) Daß mit den bisher erkannten Asteroiden die Reihe der Entdeckungen noch nicht geschlossen ist, versteht sich von selbst. Wo noch jedes der letzten 4 Jahre, selbst abgesehen von jenen dieser Himmelskörper, von denen nicht genug Beobachtungen gewonnen werden konnten, um Elemente für dieselben herzustellen, uns mehr als 20 solcher kennen lehrte, und wie wir gesehen haben, nicht etwa bloß absichtliches Suchen, sondern sehr häufig auch der Zufall uns auf solche Gestirne führt, muß man noch zahlreicher weiterer Funde gewärtig sein. Indes geben uns die bisherigen Entdeckungen bereits einige Fingerzeige an die Hand über die Beschaffenheit dieser Gestirne, deren Auffindung wir noch zu erhoffen haben.

Beim Fortschreiten der Entdeckungen giebt sich eine entschiedene Abnahme der Helligkeit der Asteroiden zu erkennen. Faßt man nämlich nach der chronologischen Reihe der Auffindungen derselben je 25 zusammen, so erhält man für das Mittel m der mittleren Oppositionshelligkeiten folgende Zahlen:

Nr.	m	Nr.	m	Nr.	m	Nr.	m
1— 25	9·26	101—125	11·20	201—225	12·06	301—325	12·56
26— 50	10·62	126—150	11·36	226—250	12·50	326—350	12·30
51— 75	11·06	151—175	11·98	251—275	12·84	351—375	12·19
76—100	11·35	176—200	11·69	276—300	13·22	376—390	11·79
1—100	10·57	101—200	11·56	201—300	12·64	301—390	12·26

Noch lehrreicher ist aber eine Zusammenstellung der Anzahl der Asteroiden einer bestimmten Helligkeit, welche sich unter jeder dieser Gruppen finden. Dabei

sollte man eigentlich die Helligkeit in Rechnung ziehen, welche der Planet bei der Entdeckung thatsächlich hatte, die von seiner mittleren Oppositionshelligkeit wegen der großen Excentricität mancher Bahn nicht unerheblich verschieden sein kann, wenn er etwa in der Nähe seines Periheles oder Apheles aufgefunden wurde. Da es sich uns hier aber nicht um eine scharfe Untersuchung, sondern nur darum handeln kann, einen allgemeinen Überblick über die vorhandenen Verhältnisse zu gewinnen, können wir ohne Bedenken die mittleren Oppositionshelligkeiten verwenden. Zählen wir nun jene Planeten, deren Größe von 8·0 bis 8·9, von 9·0 bis 9·9, von 10·0 bis 10·9 u. s. w. reicht, beziehungsweise zur 8., 9., 10., . . . Größenklasse, so finden wir:

Nr	Heller als 8.	8.	9.	10.	11.	12.	Schwächer als 12.
1— 25	2	7	11	5	.	.	.
26— 50	.	.	6	10	7	2	.
51— 75	.	.	2	10	10	3	.
76—100	.	.	.	9	13	2	1
101—125	.	.	.	8	14	3	.
126—150	.	.	.	7	13	5	.
151—175	.	.	.	1	12	9	3
176—200	.	.	1	3	8	11	2
201—225	.	.	.	2	10	10	3
226—250	.	.	.	1	8	7	9
251—275	.	.	.	.	5	7	13
276—300	.	.	.	1	2	6	16
301—325	.	.	1	2	2	9	11
326—350	.	.	1	.	6	12	5*)
351—375	.	.	.	2	8	10	5
376—390	.	.	1	2	5	5	2
1—100	2	7	19	34	30	7	1
101—200	.	.	1	19	47	28	5
201—300	.	.	.	4	25	30	41
301—390	.	.	3	6	21	36	23
1—390	2	7	23	63	123	101	70

Die Regelmäßigkeit, die sich hier in der Abnahme der Oppositionshelligkeiten ausspricht, macht es wahrscheinlich, daß wir die hellsten Glieder dieser Gruppe schon ziemlich vollständig kennen, und daß wir nur noch eine größere Nachlese von schwächeren, etwa von der 11. Größenklasse an zu erwarten haben. Diese Schlußfolgerungen werden bestätigt durch eine sehr interessante und instruktive detaillierte Mitteilung über die zur Aufsuchung neuer Planeten mittelst der

*) Diese Gruppe zählt bloß 24 Asteroiden, weil jener, der die Bezeichnung (330) erhielt, sich als die verlorene Baptistina (298) entpuppte, als er im Jahre 1893 photographisch wiedergefunden wurde, nachdem er 1892 ebenfalls photographisch entdeckt worden war, und infolgedessen diese Nummer ausfiel.

Photographie von Charlois auf der Sternwarte zu Nizza unternommenen Arbeiten.

Vom 13. September 1892 bis 9. Oktober 1894 wurden im Ganzen 142 Clichés von je 11^0 Seitenlänge aufgenommen, wobei Doppelaufnahmen ein und derselben Gegend des Himmels bloß als einfach gezählt sind. Auf 50 dieser Clichés fand sich überhaupt kein Planet bis zur 12. bis 13. Größe vor: die übrigen 92 enthielten zusammen 176 verschiedene Planeten, von denen sich 131 als bereits bekannt, und 45 als neu erwiesen. Nach Größenklassen geordnet, verteilen sie sich folgendermaßen:

Größe	bis 8.	9.	10.	11.	12.	Schwächer	Summe
Alte	6	6	23	44	41	11	131
Neue	.	2	1	7	20	15	45
Zusammen . .	6	8	24	51	61	26	176

Aus dieser Zusammenstellung ersieht man, daß die Anzahl der abgebildeten Asteroiden bis zur 12. Größe kontinuierlich steigt, dann aber ungemein rasch fällt. Doch wäre es wohl noch verfrüht, daraus den Schluß zu ziehen, daß die Anzahl der Asteroiden unter 12. Größe eine verhältnismäßig geringe sei: es dürfte dies vielmehr daher kommen, daß unsere jetzigen Hilfsmittel die Aufnahme schwächerer Asteroiden noch nicht gestatten.

Sehr bemerkenswert hingegen ist der Umstand, daß auf den Platten bis einschließlich 11. Größe die alten Asteroiden gegenüber den neuen sehr bedeutend überwiegen, bei geringeren Größenklassen aber das Verhältnis zu Gunsten der neuen sich wendet: abermals ein Zeichen, daß wir zwar die helleren Körper dieser Planetengruppe, nicht aber die schwächeren bereits ziemlich vollständig kennen.

Aus dem Anblicke der obigen Zahlen scheint weiters zu folgen, daß die Anzahl der kleinen Planeten überhaupt wesentlich geringer sei, als man gewöhnlich anzunehmen geneigt ist. Man darf indes nicht außer Acht lassen, daß früher nur jene Gegenden des Himmels in der Nähe der Ekliptik mit Aussicht auf Erfolg nach Asteroiden abgesucht werden konnten, in welchen dieselbe nicht von der Milchstraße durchschnitten wird. Es gaben ja auch in der That die Schwierigkeiten, auf welche die Brüder Henry bei der Fortsetzung der Chacornac'schen Ekliptikalkarten stießen, als sie in die Region der Milchstraße kamen, den ersten Anstoß zu einer photographischen Aufnahme des Himmels. Auch heute noch geht man dem Photographieren dieser Gegenden meist aus dem Wege, wenn es sich dabei um Entdecken von Asteroiden handelt, weil das Absuchen der Clichés nach denselben wegen der ungemeinen Fülle an kleinen Sternen zu einer ungemein zeitraubenden und mühsamen Arbeit sich gestaltet. Außerdem tritt noch ein anderer Umstand hinzu, der zur Vorsicht mahnt.

Nimmt man von den Planeten, deren mittlere Oppositionshelligkeit derselben Größenklasse angehört, der Zeitfolge nach je 20 zusammen, so kann man mit Weglassen von einigen wenigen der zuletzt entdeckten aus den Asteroiden

10. Größe drei, aus denen 11. sechs und aus denen 12. fünf solcher Gruppen bilden. Das Mittel der Neigungen für jede dieser Gruppen ist nach einer Berechnung von Berberich:

Größe	I	II	III	IV	V	VI
10	7·8°	9·2°	10·5°	.	.	.
11	6·4	8·4	8·8	9·4°	11·8°	9·2°
12	6·2	7·3	8·1	8·3	9·5	.

Von Planeten 9. Größe kommen in der ersten Centurie 19 vor, mit einer mittleren Neigung ihrer Bahnen von 6·3°. Die 4 in der zweiten und vierten Centurie aufgefundenen Asteroiden derselben Größe weisen eine solche von 11·9° auf, während bei den 3 letzten, oben nicht berücksichtigten der 10. Größe die mittlere Neigung auf 15·9° steigt. Hier giebt sich überall eine Zunahme der mittleren Neigung bei den später aufgefundenen Asteroiden zu erkennen. Dies ist auch ziemlich leicht verständlich. Planeten mit geringer Neigung werden bei ihren Durchgängen durch die Ekliptik länger in der Nähe derselben verweilen, als solche mit starken Neigungen: man wird infolgedessen beim Suchen nach Planeten mittelst Ekliptikalkarten auf die ersten häufiger stoßen, und sie daher auch früher vollständiger entdecken, als die letzten. Dies alles zusammengefaßt wird man daher vorläufig wohl nur schließen dürfen, daß wir bis einschließlich der 11. Größe bereits die meisten jener Asteroiden kennen, deren Bahn die Ekliptik nicht in der Nähe der Milchstraße durchschneidet und keine sehr erhebliche Neigung gegen dieselbe besitzt.

§ 71. (Größe dieser Planeten.) Bald nach der Entdeckung der 4 ersten Asteroiden suchten W. Herschel und J. Schröter, die Besitzer der mächtigsten Fernrohre ihrer Zeit, die Durchmesser dieser Körper durch direkte Messung zu ermitteln, erhielten aber dafür so abweichende Werte, daß man daraus sofort erkennt, ihre Instrumente seien für derartige Untersuchungen zu schwach gewesen. Nicht viel erfolgreicher waren auch die späteren Bemühungen von Lamont, Galle, Mädler, Secchi u. a. in dieser Richtung. Als das erste für solche Messungen adäquate Fernrohr hat sich der Riesenrefraktor der Lick-Sternwarte bewährt, indem es mittelst desselben Barnard gelungen ist, die Diameter von Ceres, Pallas und Vesta mit anscheinend großer Sicherheit festzustellen. Reduziert man die von ihm erhaltenen scheinbaren Durchmesser dieser Gestirne auf die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne, so bekommt man dafür die in der Columne d stehenden Werte, aus denen unter der Annahme einer Sonnenparallaxe von 8·85″ die unter D angeführten Diameter in Kilometern fließen.

Planet	d	D
Ceres . . .	1·115″	804 km
Pallas . . .	0·675	486 =
Vesta . . .	0·536	386 =

Von Juno konnte Barnard wegen ungünstigen atmosphärischen Verhält-

nissen noch keine genauen Messungen erhalten: dem Augenmaße nach erschien sie beiläufig von derselben Größe wie Pallas und Vesta.

Außer den 4 älteren Asteroiden dürften noch einige wenige der hellsten neueren meßbare Scheiben aufweisen: alle übrigen erscheinen uns selbst in unseren stärksten Fernrohren wie die Fixsterne als unmeßbare Punkte und werden uns wohl auch für immer so erscheinen. Man hat daher versucht, sich wenigstens eine angenäherte Vorstellung von ihrer Größe auf indirektem Wege, durch folgende Erwägung zu verschaffen.

Die Helligkeit eines von der Sonne beleuchteten Himmelskörpers hängt speziell von seiner Fähigkeit, die Sonnenstrahlen zurückzuwerfen und von seinem Volumen ab, wenn man den allgemeinen und leicht zu bestimmenden Einfluß der Entfernung von Sonne und Erde als gegeben ansieht. Kennt man also die Reflexionsfähigkeit (Weiße, Albedo), und das Volumen eines Planeten, so kann man daraus die Helligkeit finden, mit welcher er uns erscheinen muß; kennt man hingegen die Reflexionsfähigkeit und die Helligkeit, so kann man das Volumen des Körpers bestimmen. Jenen Weg schlug zuerst Le Verrier ein, um die Sichtbarkeit des zu suchenden transuranischen Planeten zu beweisen (Kap. X); diesen betrat fünf Jahre später Stampfer, um das Volumen der Asteroiden zu finden. In beiden Fällen muß also die Albedo des Himmelskörpers gegeben sein: für die großen Planeten hingegen läßt sich diese bestimmen, da ihr Volumen und ihre Helligkeit bekannt sind. Die diesbezüglichen Untersuchungen haben nun dargethan, daß die Albedo keineswegs für alle Planeten gleich, sondern sehr erheblich verschieden ist. Die sichersten und ausgedehntesten darüber angestellten Beobachtungen rühren von Zöllner (Z.) und namentlich Müller (M.) her: wir fügen dieselben hier nebeneinandergestellt an, und haben beide Reihen auf die Albedo des Mars als Einheit reduziert, um sie untereinander vergleichbar zu machen.

Planet	Rel. Albedo n. Z.	M.	Planet	Rel. Albedo n. Z.	M.
Merkur . . .	0·43	0·64	Jupiter . . .	2·34	2·79
Venus . . .	2·33	3·44	Saturn . . .	1·87	3·28
Mars . . .	1·00	1·00	Uranus . . .	2·40	2·73
			Neptun . . .	1·74	2·36

Die Planeten trennen sich, bezüglich der Albedo, wie man sofort erkennt, scharf in zwei Gruppen: sie ist für Venus und die 4 äußersten Planeten, denen man dichte Atmosphären zuschreibt, nach Müller im Mittel 2·92, also wesentlich größer als für die beiden Merkur und Mars, wo der Mittelwert für dieselbe bloß 0·82 beträgt. Auch die Albedo des Mondes, der, wie wir später sehen werden, kaum Spuren einer Atmosphäre besitzt, ist nach Zöllner sehr gering, nämlich 0·63.

Für die Asteroiden dürfte es am angemessensten sein als Wert für die

Albedo den Mittelwert von Mars und Merkur anzunehmen, da es sehr unwahrscheinlich ist, daß so kleine Himmelskörper von mächtigen Atmosphären umgeben sein sollten. Übrigens muß auch die Voraussetzung, daß die Albedo aller Asteroiden gleich sei, gegenüber den auffallenden Farben und Lichtwechseln, die man bereits mehrfach an einzelnen derselben wahrgenommen hat, obwohl man bisher bedauerlicher Weise gerade der Bestimmung dieser Größen sehr wenig Aufmerksamkeit zugewendet hat, als gewagt gelten. So ist die Farbe der Iris fast ebenso rot wie die des Mars; Ende 1862 erschien C. H. F. Peters, Frigga, die damals Feronia optisch sehr nahe stand, gegenüber letzterer hellweiß; Barnard sah bei den Messungen ihrer Durchmesser Pallas und Vesta gelblich, Ceres hingegen weiß u. s. w. An Vesta hat Harrington deutliche Spuren von Veränderlichkeit nachgewiesen, ebenso hält der Herausgeber Doris für veränderlich, da sie ihm bei der Opposition des Jahres 1860 bald heller, bald schwächer als Ariadne erschien. Wie unsicher aus allen diesen Gründen der Schluß von der Helligkeit auf den Durchmesser werden kann, dafür liefern gleich die drei Planeten Ceres, Pallas und Vesta instruktive Beispiele. Der Lichtstärke nach hielt man bisher Ceres und Vesta für nahe gleich groß, ja sogar Vesta noch für etwas größer als Ceres, und Pallas für den kleinsten der drei. Nach den Messungen von Barnard ist aber Vesta der kleinste der drei Himmelskörper, Pallas etwas größer, und Ceres der größte, der Vesta an Durchmesser sogar um mehr als das Doppelte übertrifft. Obwohl daher die photometrischen Bestimmungen der Durchmesser der Asteroiden bloß als ein Notbehelf zu betrachten sind, so besitzen solche Schätzungen in Ermangelung anderer, besserer Bestimmungen doch einen unleugbaren Wert, indem sie immerhin dazu dienen, uns wenigstens einen beiläufigen Überblick der Verhältnisse zu gestatten. Wir haben daher nach Stampfers Formeln, in denen wir nur das von ihm angenommene Verhältnis 2·56 der Helligkeit zweier auf einander folgender Größenklassen in das jetzt allgemein übliche 2·50 änderten, die Durchmesser der Asteroiden nach den Größenangaben des Berliner Jahrbuches für 1897, mit der Albedo 0·82 berechnet und fügen die betreffenden Zahlen am Schlusse des Werkes bei. Dazu möchten wir nur noch bemerken, daß die Durchmesser den Quadratwurzeln der Albedo umgekehrt proportional sich verhalten. Wollte man sie also etwa auf die Albedo 2·92 der anderen großen Planeten reduzieren, so wären sie in dem Verhältnisse: $\sqrt{0{\cdot}82}$ zu $\sqrt{2{\cdot}92}$, also sehr nahe in dem Verhältnisse 1 : 1·9 zu verkleinern. Nur die Durchmesser der Planeten Ceres, Pallas und Vesta sind nach Barnards Messungen angesetzt.

Nach unseren jetzigen Kenntnissen ist also Ceres der größte unter diesen Planeten. Er hat vermöge seines Durchmessers von 804 km eine Oberfläche von wenig mehr als 2 Millionen Quadratkilometern, d. h. etwa die Dreifache der Oesterreichisch-Ungarischen Monarchie, oder die vierfache des Deutschen Reiches, während bereits die Oberfläche des nächstgrößten Asteroiden Pallas die von

Oesterreich-Ungarn nicht mehr erheblich übertrifft. Aus unserem Monde, der doch schon zu den kleineren Körpern des Systems gehört, könnten 80 der Ceres und schon mehr als 350 der Pallas gleich große Kugeln gebildet werden.

Die Durchmesser der kleinsten bislang bekannten Asteroiden kann man auf rund 15 km veranschlagen. Diese besitzen eine Oberfläche von 700 qkm, kommen also hierin etwa der Insel Menorca gleich, während ihr körperlicher Inhalt 1800 cbkm beträgt, so daß unser Mond über 12 Millionen eines solchen Hauptplaneten liefern könnte. Eine Reise um die Welt erforderte auf einem dieser einen Weg von ganzen 47 km (etwa 6 geogr. Meilen) und könnte von einem unserer rüstigen Fußgänger unschwer in einem Tage zurückgelegt werden! Hätte er gleiche Dichte mit der Erde, so würde die Schwere auf der Oberfläche eines solchen Asteroiden etwa $^1/_{850}$ der Schwere auf der Oberfläche der Erde betragen: mit anderen Worten: ein Körper, der bei uns ein Kilo wiegt, würde dort einen Druck auf seine Unterlage ausüben, den hier etwa 1·2 Gramm bewirken.

Man sieht, daß hier der Phantasie ein weiter Spielraum eröffnet ist, mag man sich jene Himmelskörper von Wesen gleich uns und unsern Mitbewohnern der Erde bevölkert denken und nach ihren dortigen Existenzen fragen oder sich im Ausmalen von Pygmäen ergehen, die im Verhältnis zu so winziger Welt stehen. Statt dessen wollen wir uns mit der Andeutung begnügen, daß die Asteroiden durch ihre Kleinheit ein Mittelglied zwischen Planeten und Meteoren (Kap. XIV) bilden, wie sie durch die großen Neigungen und Excentricitäten ihrer Bahnen (Polyhymnia und Eva z. B. stehen im Aphel doppelt so weit von der Sonne als im Perihel) gleichsam einen Übergang von Planeten zu Kometen darstellen.

§ 72. (Masse und Ursprung der Asteroiden.) Es ist uns bisher noch nicht gelungen, die Masse auch nur eines einzigen Asteroiden zu bestimmen: alles was wir hierüber vermuten können, beschränkt sich auf die Angabe eines Grenzwertes, über welchen die Gesamtmasse der Asteroiden nicht hinausgehen kann. In dieser Beziehung hat schon Le Verrier, als erst wenige Glieder dieser Planetengruppe bekannt waren, unter plausibeln Voraussetzungen gefunden, daß, wenn die Gesamtmasse dieser Gestirne gleich wäre der Masse der Erde, sie in der heliocentrischen Länge des Mars-Perihels eine Verrückung von 11″ in einem Jahrhundert hervorrufen müßten. Berücksichtigt man den Umstand, daß dieselbe zur Zeit der Oppositionen des Mars wegen seiner bedeutenden Annäherung an die Erde von dieser aus sehr beträchtlich erschiene, so wird man zu der Überzeugung geführt, daß die Marsbahn in der Länge keinen Fehler enthalten kann, der auch nur den vierten Teil jener Störung beträgt. Man muß daraus schließen, daß die Summe aller Asteroidenmassen zwischen Mars und Jupiter den vierten Teil der Erdmasse nicht überschreiten kann.

Nach unseren heutigen Kenntnissen des Asteroiden-Systemes wird aber dieser Grenzwert höchst wahrscheinlich bei weitem nicht erreicht. Bedenkt man, daß wir

vermutlich die hellsten, also wohl auch größten Glieder desselben bereits ziemlich vollständig kennen dürften (§ 70), daß dem obigen zufolge von den kleineren Millionen nötig sind, um einen unserem Monde an Volumen gleichen Körper zu erhalten, und daß die Masse dieses nur $^1/_{80}$ der Erdmasse beträgt, so wird man wohl die Gesamtmasse dieser Körper höchstens auf $^1/_{10}$ bis $^1/_{20}$ der Mond- oder auf $^1/_{800}$ bis $^1/_{1500}$ der Erdmasse veranschlagen dürfen.

In Bezug auf den Ursprung dieser Himmelskörper haben wir bereits einmal bemerkt, daß Olbers sie für die Trümmer eines großen Planeten hielt; eine Meinung, die anfangs ziemlich allgemein Eingang fand, in neuerer Zeit aber allmählich ganz aufgegeben wurde. Während nämlich einerseits gar nichts zu solcher Annahme nötigt und man sich in einer gewissen Gegend des Sonnensystems ebenso gut in ganz regelmäßiger Weise viele kleine wie einen großen Planeten entstanden denken kann, sprechen andererseits sehr wichtige Gründe gegen jene Hypothese. Zuerst hat Encke gezeigt, daß die Bahnen von Ceres und Pallas, die Olbers zu seiner Ansicht führten, sich wahrscheinlich nie wirklich kreuzten; dann hat Newcomb dasselbe von einer großen Anzahl Asteroidenbahnen nachgewiesen und hervorgehoben, daß auch die Verhältnisse der Helligkeiten und Geschwindigkeiten dieser Himmelskörper nichts weniger als einen gemeinschaftlichen Ursprung derselben wahrscheinlich machen.

Eine andere jedenfalls sehr kühne wohl aber noch leichter anfechtbare Hypothese hat Leverrier ausgesprochen, die sich darauf stützt, daß in der Aufeinanderfolge der Entdeckungen häufig längere Pausen vorkommen und dann wieder oft wenige Wochen uns eine Menge neuer Planeten bringen. Er fragt deshalb, ob diese Körper nicht vielleicht eben erst entstanden seien? Der Raum um die Sonne sei bekanntlich mit kosmischen Massen von allen Graden der Dünnheit und Dichte erfüllt: könnte da nicht ein größeres Bruchstück sich durch Anziehung mit einem anderen vereinigen und so nach und nach zu einem Planeten heranwachsen, den man heute erst sieht, weil er gestern eben noch nicht existierte?

Hält man an der Kant-Laplace'schen Hypothese der Bildung unseres Sonnensystems fest, die weiter unten ausführlicher zur Besprechung gelangen wird, so kann man die Bildung der Asteroiden wohl am einfachsten durch die übermächtige Anziehung Jupiters erklären, die in seiner Nähe das Zusammenballen der Nebelmasse der Sonne in einen größeren Körper hinderte.

§ 73. (Verteilung der Asteroidenbahnen.) Das Zusammendrängen so vieler Planeten auf einen Raum, der nur eine Ausdehnung hat, wie der dreifache Halbmesser der Erdbahn, richtete bald die Aufmerksamkeit der Astronomen auf die Frage, ob die Bahnen der Asteroiden nicht besondere Anordnungen zeigen. Man unterzog zuerst die Lage der Knotenlinien in der Ekliptik einer näheren Betrachtung und fand in denselben, so lange die Zahl der bekannten Asteroiden noch eine mäßige war, stellenweise, namentlich zwischen dem 2. und 3. Quadranten, ziemlich auffallende Anhäufungen, die allerdings anfänglich überraschten, sich aber leicht

auf den Einfluß der Jahreszeiten zurückführen lassen, später übrigens auch sich immer mehr verwischten. Zur Aufsuchung von Asteroiden eignen sich nämlich Frühjahr und Herbst wegen ihrer langen und doch angenehmen Nächte besser als Winter und Sommer, deren erster durch seine häufig bewölkten, und letzter durch seine kurzen Nächte, in denen noch dazu die Ekliptik sich in unseren Gegenden tief am Horizonte befindet, hierfür wenig vorteilhaft sind. Da man ferner nur in der Nähe der Ekliptik nach neuen Planeten suchte, und natürlich hauptsächlich diejenigen Gegenden des Himmels durchmustert wurden, welche nahe um Mitternacht kulminieren, werden auch jene Teile der Ekliptik das größte Kontingent zu den neuen Funden liefern, welche in den günstigsten Jahreszeiten, also Frühling und Herbst der Sonne gerade gegenüber liegen oder, wie der Kunstausdruck heißt, sich mit ihr in Opposition befinden. Im Frühlinge hat die Gegend 135° bis 225°, d. h. die oben hervorgehobene, diese Stellung, im Herbste hingegen der Bogen 315° bis 45°.

In gleicher Weise hat sich ein früher vermuteter Zusammenhang zwischen den Excentricitäten und Neigungen dieser Himmelskörper im Laufe der Entdeckungen nicht bestätigt, und ist davon wenig mehr zu sagen, als daß in der Regel große Excentricitäten mit excessiven Neigungen verbunden vorkommen. Hingegen haben sich im Laufe der Zeit die Fälle immer mehr gehäuft, in welchen nicht nur alle maßgebenden Elemente, nämlich halbe große Achse (a), Excentricität (e), Länge des aufsteigenden Knotens (Ω) und Neigung, für mehrere Asteroiden sich sehr ähneln, sondern auch die Apsidenlinie beiläufig dieselbe Lage hat, wo nämlich auch die Längen des Perihels (π) nicht viel von einander oder von 180° abweichen. Auf das erste auffallende Vorkommnis dieser Art machte R. Luther aufmerksam; es trat bei Fides und Maja ein. Später haben sich vornehmlich Krikwood, Monck und Lehmann mit dem Aufsuchen solcher Asteroidenpaare beschäftigt, von denen wir hier einige der bemerkenswerteren anführen:

Planet	Ω	i	a	e	π
Fides . . .	8·1°	3·1°	2·641	0·178	67°
Maja . . .	8·3	3·1	2·645	0·175	49
Klytia . . .	7·6	2·4	2·665	0·043	61
Una . . .	9·3	3·8	2·728	0·066	56
Aegina . .	11·0	2·1	2·589	0·106	82
Clarissa . .	7·9	3·4	2·421	0·115	59
Aemilia . .	135·1	6·1	3·110	0·100	117
Chryseis . .	137·8	8·8	3·072	0·101	133
Hersilia . .	145·4	3·8	2·740	0·041	86
Bavaria . .	142·4	4·9	2·726	0·061	258

Planet	Ω	i	a	e	π
Clorinde . .	144·8°	9·0°	2·339	0·082	78°
Nephtys . .	142·2	10·0	2·353	0·023	258
Circe . . .	184·9	5·5	2·685	0·109	150
Polyxo . .	182·3	4·4	2·745	0·029	298
Adraſtea . .	181·7	6·1	2·976	0·227	27
Renetta . .	182·7	6·7	2·875	0·205	9
Victoria . .	235·6	8·4	2·334	0·219	302
Amalia . .	234·1	8·1	2·359	0·221	289
Lacheſis . .	342·6	7·0	3·116	0·061	221
Joſefina . .	345·2	6·9	3·120	0·064	59

Solche gruppenweiſe Anordnungen, die auch in anderer Richtung mehrfach hervortreten, können kein Spiel des Zufalls ſein: ſie verdanken vielleicht einem gruppenweiſen Entſtehen dieſer Himmelskörper ihren Urſprung.

Nicht minder beachtenswert ſind die Lücken, die hier und da bei den halben großen Bahnachſen vorkommen. Solche finden ſich, wenn wir nur auf jene Planeten Rückſicht nehmen, welche mindeſtens in zwei Oppoſitionen beobachtet wurden, beiſpielsweiſe zwiſchen Ariadne und Baptiſtina, zwiſchen denen ſich nur noch ein Planet: Alice bewegt; ferner Heſtia und Svea, Sibylla und Andromeda, Chicago und Kamilla, u. ſ. w. Dies ſcheint allerdings nicht bloß in der Mangelhaftigkeit unſerer Kenntnis dieſer Himmelskörper, ſondern in der Natur der Sache zu liegen. Wir werden nämlich ſpäter ſehen (3. Abt. Kap. V, Ende), daß die Störungen zweier Planeten auf einander immer dann eine ſehr bedeutende Größe erreichen können, wenn ihre Umlaufszeiten ſich ſehr nahe wie zwei ganze Zahlen verhalten. Es iſt nun ſchon von verſchiedenen Seiten, namentlich 1876 von D. Kirkwood, hervorgehoben worden, daß die Lücken gerade an jenen kritiſchen Stellen vorkommen, wo die Umlaufszeiten der Aſteroiden zu der von Jupiter ſich wie zwei ganze Zahlen verhalten würden. Die umfaſſendſten Unterſuchungen in dieſer Richtung hat aber im Jahre 1881 Prof. Hornſtein angeſtellt und dieſelben auf alle 219 damals bekannten Aſteroiden ausgedehnt. Das Reſultat, zu dem er dabei gelangte, daß die Lücken auf jene Partieen der Aſteroidenzone fallen, in welchen die Umlaufszeiten eines Planeten zu der des Jupiter in einem einfachen kommenſurablen Verhältniſſe ſtehen, iſt auch heute noch, wo die Anzahl der bekannten Körper dieſes Syſtems ſich nahezu verdoppelt hat, gültig. So entſpricht die erſte der oben genannten Lücken einer Halbachſe, bei welcher 7 Umläufe eines Aſteroiden 2 Umläufen von Jupiter gleich kämen; die zweite und dritte fällt auf Halbachſen, wo reſp. je 3 und 2 Umläufe einem Jupiters, und die letzte größte auf ſolche, wo entweder je 5 und 3, oder 7 und 4, oder 8 und 5, oder 9 und 5 Umläufe von Aſteroiden und Jupiter einander gleich würden.

Nicht minder auffällig als diese Lücken sind auch die Anhäufungen der Asteroidenbahnen, die sich in gewissen Gegenden finden. So liegen, um nur die beiden bedeutendsten dieser hervorzuheben, zwischen 2·64 und 2·81 Erdbahnhalbmessern die Halbachsen von 112, und zwischen 3·09 und 3·19 die von 60 Asteroiden, oder 28 % und 15 %, zusammen 43 % aller in Rechnung gezogenen Bahnen.

Außerdem lassen sich im Asteroidengürtel noch 2 Gruppierungen anderer Art erkennen. Sucht man nämlich den Mittelwert aller Bahnebenen der Asteroiden, so koincidiert derselbe nach Rechnungen von H. A. Newton sehr nahe mit der Bahnebene Jupiters, und was die Perihellängen betrifft, befindet sich eine erhebliche Mehrzahl im zweiten Quadranten. Beide dieser Verhältnisse lassen sich durch die Anziehung Jupiters erklären, wie dies für das erste Newton, fürs zweite Newcomb nachgewiesen hat.

§ 74. (Bahnnähen und physische Zusammenkünfte der Asteroiden.) Sehr oft schon wurde die Frage angeregt, ob sich einzelne Himmelskörper unseres Sonnensystems nicht einander so nähern könnten, daß außergewöhnliche wechselseitige Wirkungen entstehen müßten. So lange man nur die großen Planeten kannte, konnte dabei bloß von Zusammenkünften der Kometen unter einander oder mit Planeten die Rede sein, da die Bahnen jener großen Planeten überall durch weite Zwischenräume von einander getrennt sind. Wir werden weiter unten (Kap. XIII) auf die Verhältnisse der Kometen in dieser Hinsicht zurückkommen. Hier haben wir es mit den möglichen gegenseitigen Näherungen der Asteroiden zu thun, die der Frage neues Interesse verleihen, seit deren große Anzahl erkannt ist.

Solche Betrachtungen zerfallen in zwei Teile. Man hat zuerst alle diejenigen Gegenden aufzusuchen, in welchen je zwei Bahnen einander sehr nahe liegen, und zweitens zu erforschen, wann die betreffenden Planeten beiläufig gleichzeitig durch jene Gegend gehen.

Die strenge Auflösung des ersten Problems, den Ort und die Größe der kürzesten Distanz zweier elliptischer Bahnen zu finden, führt auf sehr verwickelte Formeln, deren genaue Berechnung großen Aufwand an Zeit und Mühe erfordern würde. Deshalb hat man, schon seit Ceres und Pallas im Jahre 1802 durch die Lage ihrer Bahnen die erste Veranlassung zu solcher Untersuchung boten, die Arbeit dadurch zu vereinfachen gesucht, daß man die kürzeste Distanz zweier Bahnen in der gemeinschaftlichen Knotenlinie der Bahnen liegend annahm, wo man dann nur die sehr leicht zu findende Differenz der in diese Linie fallenden Radien Vektoren zu suchen hätte. Man sieht aber bei näherer Überlegung sogleich, daß in unserem Falle, wo Ellipsen von verschiedener Excentricität und Orientierung bei geringer gegenseitiger Neigung nicht ihren Mittel-, sondern einen ihrer Brennpunkte gemein haben, solche Abkürzung oft zu sehr irrigen Resultaten führen kann. Um nun die erforderliche Mühe auf ein zu bewältigendes Maß herabzusetzen und dabei doch nicht zu Methoden genötigt zu sein, die sich nicht der vollsten Sicherheit erfreuen, schlug K. v. Littrow einen graphischen Weg

ein. Ein wirklicher Durchschnittspunkt zweier Kurven von beliebiger Lage im Raume charakterisiert sich nämlich dadurch, daß er von jeder Seite angesehen sich als solcher darstellt, und unterscheidet sich hierdurch eben von einem bloß scheinbaren, optischen Kreuzungspunkte, der nur in gewissen Richtungen als Durchschnitt erscheint. Es wird im allgemeinen genügen, zwei Bahnen, von denen man zu erfahren wünscht, ob sie sich gegenseitig irgend bedeutend nahe kommen, in zwei auf einander senkrechten Richtungen zu betrachten; liegen sich die Kurven in einer und derselben Gegend in beiden Richtungen nahe, so hat eine wirkliche Annäherung der Bahnen statt. Es wurde daher zunächst jede der in Frage kommenden Bahnen sowohl auf die Ekliptik als auf den Breitenkreis der Äquinoktien projiziert und dann wurden alle diese Zeichnungen einzeln auf durchsichtiges Papier übertragen, das noch sehr wohl gestattete, das wechselseitige Verhalten je zweier Bahnen in beiden Richtungen zu erkennen, wenn man die betreffenden Blätter über einander legte. Indem man so alle möglichen Paare (Kombinationen zu zwei) bildete, konnte man nicht nur besonders enge Näherungen von weniger merkwürdigen unterscheiden, sondern zugleich die Gegend des Himmels angeben, in welcher diese Näherung eintritt. Auf diese Art wurden die ersten 82 Asteroiden untersucht und dabei 333 Fälle gefunden, in denen die Bahnen auf 0·02 der mittleren Entfernung der Sonne von der Erde oder auf etwa 3 000 000 km und darunter bei einander liegen. Einzelne Kombinationen zeigten auffallende Verhältnisse. In sehr vielen Fällen liegen die beiden Bahnen an sich so völlig verschieden, daß man nichts weniger als eine bedeutende gegenseitige Annäherung vermuten möchte, während sie plötzlich in einem gewissen Punkte, ja oft an zwei Stellen, sich beinahe kreuzen. Doppelte Näherungen, an sich eine höchst sonderbare Erscheinung, ereignen sich in 91 Fällen. Ebenso merkwürdig sind die oft vorkommenden großen Spielräume, in denen Bahnen einander nahe bleiben. Das beachtenswerteste Beispiel in dieser Hinsicht bieten Asia und Feronia, wo dies durch nicht weniger als 100° der Länge der Fall ist. Kommen daher diese beiden Planeten einmal in der Mitte der Bahnnähe zusammen, so beharren sie etwa 280 Tage in einem gegenseitigen Abstande von 0·03. Bei der Kombination Euterpe—Massalia beträgt jener Spielraum 71°. Besondere Anhäufungen von Bahnnähen in bestimmten Gegenden des Weltalls haben sich nicht gefunden; man ist daher zu der Annahme berechtigt, daß mit der Zunahme der Anzahl der darauf hin untersuchten Asteroiden sich die schon jetzt nahezu vorhandene Gleichförmigkeit der Verteilung immer deutlicher einstellen werde.

Um nun auch den zweiten Teil der hier gestellten Aufgabe zu lösen, d. h. diejenigen Fälle zu erforschen, in welchen eine wirkliche (physische, nicht optische) Zusammenkunft der fraglichen Planeten in nicht zu ferner Zukunft sich ereignet, hat man nur die Differenzen der Durchgangszeiten je zweier derselben durch ihre gegenseitigen Bahnnähen Umlauf für Umlauf zu bestimmen und zuzusehen, ob und wann diese Differenzen nahezu verschwinden.

Die ersten 82 Asteroiden sind auch in dieser Beziehung untersucht worden, was für den Zeitraum von 1875 bis Ende 1899 etwa 20 beachtenswerte Fälle ergab, von denen die 4 folgenden noch zu erwarten sind:

Diana—Leda	1895 Mitte November
Concordia—Echo . . .	1897 Ende März
Calypso—Isis . . .	1899 Mitte Juni
Isis—Melete	1899 Anfang August.

Bedenkt man, daß mit solcher Aufführung noch keineswegs über die Bedeutung dieser Zusammenkünfte entschieden ist, und daß selbst bei Kombinationen, die eine gegenseitige Distanz von nur 0·02 und darunter erwarten lassen, die wechselseitigen Abstände bei der Kleinheit der Massen dieser Gestirne in Wirklichkeit meistenteils noch viel zu groß ausfallen, um besondere Wirkungen hervorzurufen, so zeigt sich, daß auch bei diesen im Raume scheinbar so zusammengedrängten Planeten wirklich merkwürdige Annäherungen zu den großen Seltenheiten gehören, während optische Zusammenkünfte sehr häufig vorkommen. Immerhin lohnt es der Mühe, diesen Weg, auf dem es allein gelingen kann, die Massen der Asteroiden zu bestimmen, nicht aus den Augen zu lassen.

Wenn aber auch die gegenseitigen Entfernungen dieser Körper nur sehr selten etwa auf die Entfernung des Mondes von der Erde herabsinken, so wird doch das Firmament der Asteroiden einen erstaunlichen Reichtum an Planeten zeigen, die durch ihre Nähe ersetzen, was ihnen vermöge ihrer Kleinheit an Glanz fehlt, und die deshalb häufig an Leuchtkraft unsere hellsten Wandelsterne erreichen, ja vielleicht weit übertreffen.

Kapitel VII.

Jupiter.

§ 75. (Distanz, Umlaufszeit, Durchmesser ꝛc. Jupiters.) Dieser größte aller Planeten wird leicht an seinem hellgelben, unter den Planeten nur von Venus übertroffenen Lichte, das ihn unter günstigen Umständen zuweilen selbst noch kurz nach Auf- oder vor Untergang der Sonne dem freien Auge bei Tage wahrnehmbar macht, und schon durch mäßige Fernrohre an seinem beträchtlichen scheinbaren Durchmesser und 4 Begleitern erkannt, die immer in einer ziemlich geraden, durch seinen Mittelpunkt gehenden Linie gereiht erscheinen. Seine mittlere Entfernung von der Sonne ist nahe 5·2mal größer als die der Erde oder gleich 773 Millionen km. Die Excentricität seiner Bahn beträgt 0·05 seiner mittleren Entfernung, daher steht er in seinem Aphelium (I, § 76) 811 und in seinem Perihelium nur 736 Millionen km von der Sonne ab. Seine Entfernung von der Erde vergrößert sich, während er von der Opposition zur Konjunktion wandert, von 578 auf

960 Millionen km, wobei sein Durchmesser von 51″ auf 31″ herabsinkt. Daraus und aus seiner Entfernung folgt (I, § 43) der wahre Durchmesser dieses Planeten 143 760 km, also 11 mal größer als der Durchmesser der Erde. Seine Oberfläche ist daher auch 121- und sein Volumen 1330 mal größer als das der Erde, oder aus diesem Planeten könnte man 1330 der Erde an Größe gleiche Kugeln bilden; aus der Sonne aber würden sich 962 dem Jupiter gleiche Kugeln machen lassen. An Masse oder materiellem Stoff enthält er aber nur 308 mal mehr als die Erde, d. h. Jupiter in der einen und 308 Erden in der andern Schale würden die Wage im Gleichgewichte halten. Die Dichtigkeit dieser Masse ist daher nur der vierte Teil von jener der Erdmasse, oder die mittlere Dichtigkeit des Stoffes, aus dem Jupiter besteht, ist nahe der unseres Bernsteines gleich. Dieser geringen Dichtigkeit ungeachtet und trotz seiner schnellen Rotation fallen wegen der großen Masse dieses Planeten die Körper auf seiner Oberfläche in der ersten Sekunde doch durch 10·9 m.

Durch die Größe seiner Masse, welche die aller anderen Planeten zusammengenommen beinahe dreimal übertrifft, erscheint Jupiter gleichsam als der zweite Hauptkörper unseres Sonnensystemes. Aus diesem Grunde ist aber eine genaue Kenntnis seiner Masse den Astronomen sehr wichtig, weil von ihr der größte Teil der Störungen abhängt, welche die anderen Planeten, besonders die dem Jupiter näherstehenden Asteroiden, sowie namentlich auch in besonders hohem Maße einige Kometen erfahren. Es suchte deshalb auch bereits Newton aus dem Halbmesser der Bahn des vierten Satelliten (vgl. § 58 S. 343), welchen er zuerst den Beobachtungen seines Freundes Halley, und später Pound's Messungen entnahm, die Masse Jupiters zu bestimmen, und fand für dieselbe $^1/_{1067}$ der Sonnenmasse.

Außer aus den Bahnen ihrer Satelliten giebt es aber auch noch ein anderes Mittel, die Massen der Planeten, vorzüglich so großer Planeten, zu bestimmen, die Störungen nämlich, welche andere Planeten von ihnen erfahren, und die natürlich desto bedeutender sein müssen, je größer die störende Masse ist, daher man auch umgekehrt aus den Wirkungen, die durch unmittelbare Beobachtungen gegeben werden, auf die Ursache dieser Wirkungen, d. h. auf die Massen der störenden Planeten zurückschließen kann. Bouvard unternahm es, auf den Rat des großen Geometers Laplace, auf diesem Wege die Masse Jupiters durch die Störungen zu bestimmen, welche Saturn von ihm leidet, und er fand dafür $^1/_{1070}$, also nur unbedeutend von der eben angeführten Bestimmung verschieden. Diese Übereinstimmung schien zu dem Schlusse zu berechtigen, daß die Masse Jupiters mit sehr großer Schärfe bekannt sei, wie sie denn auch von Laplace in seiner Mécanique céleste als eine Angabe betrachtet wird, mit welcher sich in Beziehung auf ihre Genauigkeit nur wenig andere astronomische Resultate vergleichen lassen. Allein Jupiter bringt in den Bewegungen der kleinen Planeten noch viel bedeutendere Störungen hervor als in denen Saturns. Gauß war

der erste, der dies erkannte und aus seinen Berechnungen der Pallas fand, daß die bisher für so genau bestimmt gehaltene Masse Jupiters um ihren 80sten Teil, etwa auf $^1/_{1054}$ vergrößert werden müsse, — ein Resultat, das später durch die Untersuchung der Bewegung der Juno von Nicolai, nnd jener der Vesta von Encke bestätigt wurde.

Da man aber noch immer sich von der Idee der hohen Genauigkeit jener ersten Bestimmung der Jupitermasse durch die Trabanten nicht trennen wollte und doch auf dem andern Wege, an dessen Sicherheit man auch nicht zweifeln konnte, ein ganz anderes Resultat fand, geriet man auf eine Mutmaßung, die sich schon früher mehrmals geregt hatte, nämlich daß die Anziehung der Erde und der Planeten überhaupt nicht auf alle Körper dieselbe sei, sondern daß sich auch etwas den chemischen Verwandtschaften ähnliches in die Sache mischen könnte. Man stellte demgemäß die Behauptung auf, daß Jupiter aus dieser Ursache auf die Asteroiden mit einer nahe um $^1/_{80}$ stärkeren Anziehung wirke als auf seine vier Monde. Diese Sache gab zu vielen gelehrten Diskussionen Gelegenheit, die selbstverständlich zu keinem bestimmten Resultate führen konnten; man übersah aber dadurch unbegreiflicherweise, den einzig richtigen Weg zur Entscheidung dieser Frage einzuschlagen, nämlich die Messungen der Bahndimensionen der Jupitersatelliten mit den seitdem so wesentlich verbesserten Instrumenten zu wiederholen, anstatt jene alten Messungen von Pound durch mehr als 100 Jahre für unverbesserlich zu halten. Bloß Triesnecker in Wien kam auf diesen Gegenstand einmal zurück und suchte im Jahre 1794 die Halbmesser der Bahnen dieser vier Monde mit Hilfe eines $3^1/_2$füßigen Dollond'schen Objektivmikrometers zu bestimmen. Er machte diese seine, für jenes Instrument recht guten, Beobachtungen in den Wiener Ephemeriden für das Jahr 1797 bekannt, und sie hätten, wenn sie damals mit der nötigen Umsicht zu einer Massenbestimmung Jupiters verwendet worden wären, dessen Masse in naher Übereinstimmung mit dem später aus den Asteroidenstörungen gefolgerten Werte zu $^1/_{1056}$ ergeben. Da dies aber nicht geschah, blieb es Airy und Bessel vorbehalten, die Streitfrage endgiltig zu lösen durch ihre Messungen am Cambridger Äquatoriale und am Königsberger Heliometer, welche für die Masse Jupiters resp. $^1/_{1047}$ und $^1/_{1048}$ lieferten. Seither sind derartige Messungen noch mehrfach von H. C. Vogel, W. Schur u. a. mit demselben Erfolge wiederholt worden, und auch die Neuberechnung der Saturnstörungen durch Le Verrier und in jüngster Zeit durch Hill hat zu einem ähnlichen Resultate für die Jupitermasse geführt. Dadurch ist also auch zugleich erwiesen, daß Jupiter ganz in derselben Weise auf seine Monde wie auf die kleinen Planeten und wie auf Saturn wirkt, was übrigens von vornherein zu erwarten war.

Unter dem Heere der neuentdeckten Asteroiden giebt es eine große Zahl solcher, auf deren Bewegung Jupiter noch weit störender einwirkt, als auf die Bewegung der 4 älteren, aus denen infolgedessen auch seine Masse noch sicherer als aus

jenen bestimmt werden kann. Die diesbezüglichen mühsamen und zeitraubenden Rechnungen sind indes erst für Polyhymnia von Newcomb, und für Themis von Krüger genauer durchgeführt worden. Am stärksten aber läßt Jupiter, wie wir später (Kap. XIII) sehen werden, seine gewaltige Kraft einige Kometen fühlen, was für eine Massenbestimmung desselben von Möller beim Faye'schen Kometen und von Freiherr v. Härdtl beim Winnecke'schen verwendet wurde. Die Resultate aller dieser Untersuchungen hat Newcomb in der folgenden Tabelle zusammengetragen: nach denselben ist die Masse Jupiters kleiner als die der Sonne:

1. Aus allen vorhandenen Satellitenmessungen 1047·82 mal
2. = den Störungen auf Saturn . . . 1047·38 =
3. = = = = Themis . . . 1047·54 =
4. = = = = Polyhymnia. . 1047·34 =
5. = = = = Komet Faye. . 1047·79 =
6. = = = = = Winnecke 1047·17 =

Alle diese Einzelwerte bewegen sich, so verschieden auch die Quellen sind, aus denen sie stammen, innerhalb sehr enger Grenzen, und sind ein sprechender Beweis für die Schärfe der Ermittelungen der neueren Astronomie, und für die Überlegenheit derselben gegenüber den Resultaten früherer Zeiten. Für die sichersten der obigen Werte hält Newcomb die sub Nr. 2,4 und 6 angeführten, und demgemäß als den wahrscheinlichsten Wert, der aus allen bisherigen Bestimmungen für die Jupitersmasse gefolgert werden kann, $^1/_{1047\cdot35}$ der Sonnenmasse. Dieser Wert kann, wie schon der bloße Anblick der Zahlen, aus denen er gezogen wurde, zeigt, nur noch um ganz belanglose Quantitäten unsicher sein.

Die Umlaufszeit Jupiters beläuft sich auf 4332·58 Tage siderisch, 4330·59 Tage tropisch, und 398·87 Tage synodisch (I, § 84, 85, 86). In seiner mittleren Bewegung um die Sonne legt er während einer jeden Sekunde nur 13 km zurück, geht also 2·3 mal langsamer als die Erde und 4 mal langsamer als Merkur.

Das Licht, welches er uns zusendet, beträgt nach Zöllner in mittleren Oppositionen den 5472 millionsten Teil des Sonnenlichtes.

Jupiters Symbol 4 soll von der ältesten Schreibart des ersten Buchstaben im Worte Ζεύς herrühren. Welchen Zusammenhang der Gott der Götter mit dem dasselbe Zeichen tragenden Zinn hat, mögen die Chemiker wissen.

§ 76. (Unterschiede der vier entferntesten Planeten von den andern.) Dieser Planet ist in der Reihe unserer Betrachtungen gleichsam der erste einer ganz neuen Art. Merkur, Venus und Mars samt der Erde unterscheiden sich nämlich in vielen Rücksichten wesentlich von den nun folgenden, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun; die sogenannten Asteroiden aber sind als ein Zwischenglied anzusehen, wodurch jene beiden Reihen mit einander verbunden werden. Jene erfreuen sich einer immerwährenden Nähe der Sonne, während diese immer mehr von ihr wegtreten, wie denn z. B. der Durchmesser der Sonne auf Jupiter nur noch unter dem kleinen Winkel von 6′, also 5 mal kleiner als auf der Erde, erscheint. Von jenen 4

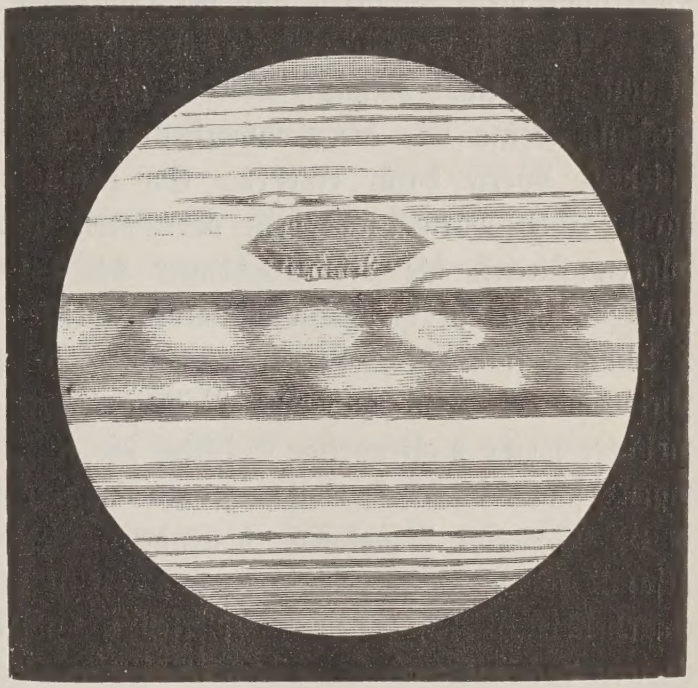
drehen sich 3 wahrscheinlich nahe in derselben Zeit, während 24 unserer Stunden, um sich selbst und der vierte vermutlich noch viel langsamer; diese 4 aber, obschon sie bei weitem die größten sind, bewegen sich, so weit wir bisher ihre Rotationen kennen, viel schneller um ihre eigene Achse; Jupiter und Saturn in 0·4 eines unserer Tage, so daß also auf ihnen Tag und Nacht viel schneller wechseln als bei uns. Aus dieser Ursache bemerkt man auch an diesen Planeten, wie wir bald näher sehen werden, eine sehr starke, selbst in dieser großen Entfernung noch sichtbare Abplattung, die bei den 4 der Sonne näheren Planeten durchaus sehr klein ist. Jene 4 gehören ferner im allgemeinen zu den kleineren Planeten, denn Venus hat nur 0·8, Mars 0·14 und Merkur sogar nur 0·05 des Volumens der Erde, während Jupiter 1330=, Saturn 823=, Uranus 92=, Neptun 80mal mehr Volumen als die Erde hat. Ebenso verschieden sind ferner auch die Massen dieser zwei Gattungen von Planeten; denn wenn man die Masse der Erde als Einheit annimmt, so ist die der Venus 0·8, des Merkurs 0·03 und des Mars 0·1, während im Gegenteile die Masse Jupiters 308=, die des Saturn 92=, die des Uranus 15=, und die des Neptun 16mal größer ist als die der Erde. Endlich scheint dieser Unterschied sich selbst auf die Dichtigkeiten dieser Massen fortzusetzen; denn die Dichtigkeit Merkurs ist 0·7, der Venus 0·9 und des Mars 0·7 von der der Erde, während die Dichtigkeit Jupiters 0·25, die des Saturn nur 0·12, die des Uranus 0·2 und die des Neptun 0·3 von der Dichtigkeit der Erde beträgt, so daß also jene 4 Planeten an Beleuchtung und Erwärmung, an der Länge der Tage und an Dichtigkeit den entferntern vorgehen, während sie wieder von diesen an der Größe ihres Umfangs, an der Menge ihres körperlichen Stoffs und an der Abplattung ihrer Pole übertroffen werden.

§ 77. (Streifen und Flecken auf Jupiter.) Man könnte selbst noch einen andern Unterschied anführen, durch welchen sich diese zwei abgesonderten Planetenfamilien, wenn man so sagen darf, wesentlich zu unterscheiden scheinen. Abgesehen nämlich von Uranus und Neptun, deren große Entfernung solche Wahrnehmungen hindert, bieten die Oberflächen von Saturn und Jupiter vielfach ähnliche Erscheinungen. So erblickt man auf Jupiter mehrere große und kleinere Streifen, die seinem Äquator parallel sind und von welchen die größern durch dessen ganze Scheibe gehen. Fontana soll dieselben schon im Jahre 1633 entdeckt haben, und Campani fand mit den von ihm selbst verbesserten, für seine Zeit vortrefflichen Fernrohren im Jahre 1664 4 dunkle und 2 helle Streifen. Hevel und Cassini erkannten zuerst, daß sie der Ekliptik nahe parallel sind. Taf. VI, Fig. 1 zeigt diese Streifen nach der Beobachtung von De la Rue am 25. Oktober 1856. Die dem Äquator nächsten Streifen sind in der Regel die breitesten und zugleich in ihren Formen die beständigsten: alle aber sind großen Veränderungen ihrer Gestalt sowohl als auch ihrer Intensität und Färbung unterworfen. So sah Browning gegen Ende 1869 den Äquatorstreifen, der gewöhnlich einen grauen Silber- oder Perlglanz zeigt, tief gelb; die nördlich und

südlich sich hieran schließenden Streifen perlweiß und glänzender als irgend einen anderen Teil des Gestirnes; die dann folgenden kupferrot, die Pole endlich sehr dunkel und bläulich.

Als Jupiter 1878 Anfangs Juli aus den Sonnenstrahlen heraustrat, zeigte sich auf seiner Oberfläche ein großer ovaler Fleck von intensivroter Färbung, der jahrelang eines der auffälligsten Objekte auf seiner Scheibe blieb, und bis heute an Größe und Form nur geringfügige Änderungen erlitten, wohl aber sehr bedeutende Schwankungen an Färbung und Intensität durchgemacht hat. Der nebenstehende Holzschnitt (Fig. 62) stellt nach einer Zeichnung Denning's vom 7. Dezember 1881 Jupiter zu einer Zeit dar, wo dieser Fleck sich sehr nahe auf der Mitte der uns sichtbaren Seite befand.

Fig. 62.



Der eben erwähnte Fleck erhielt sich bis Ende 1882 fast unverändert, verblaßte dann aber so rasch, daß man einem baldigen Verschwinden desselben entgegen sah. Dies trat indes nicht ein; er erhob sich im Gegenteil 1885 und 1886 wieder zu einer recht auffallenden Erscheinung, worauf abermals ein paar Jahre folgten, in denen er nur äußerst schwach erschien. Ende 1890 und noch mehr Anfang 1891 hatte er indes wieder viel von seiner ursprünglichen Intensität und Farbe zurückgewonnen, nimmt aber seither wieder immer mehr an Helligkeit ab, so daß er in der Opposition 1894 und 1895 zu einem ganz unscheinbaren Gegenstande herabgesunken war. Er scheint darnach ein Objekt von veränderlicher Intensität und Farbe zu sein, und wenn man, von diesem Gesichtspunkte ausgehend, ältere Zeichnungen Jupiters durchsieht, so gewahrt man, daß schon 1872 Terby an derselben Stelle Jupiters einen großen, elliptisch geformten Fleck, damals aber von sehr dunkler Schattierung wahrgenommen hatte, und Zeichnungen von Gledhill und Mayer aus 1869 und 1870, sowie solche von Dawes aus 1857 und den folgenden Jahren weisen eine ganz gleiche Bildung auf: ja es ist gar nicht unmöglich, daß dieser Fleck nur ein Wiederaufleben eines Flecken ist, den Hooke und Cassini vor etwa 2 Jahrhunderten beobachteten, und zwar der letztere durch 16 Jahre.

Außer den Streifen bemerkt man aber auf Jupiter öfter noch kleinere,

dunklere wolkenartige Flecken, die man zuweilen, wie unsere Wolken, sich anhäufen und wieder trennen und über einen großen Teil Jupiters sich verbreiten sieht. Aus den großen Streifen laufen öfter kleinere wie Strahlen aus; manchmal sieht man auch mitten in den Streifen sehr helle, weiße, oder sehr dunkle scharf begrenzte kleine Flecken. Von den letzteren waren namentlich in den Jahren 1890 und 1891, sowie 1894 und 1895 ziemlich viele auf der nördlichen Halbkugel des Planeten vorhanden.

Zur Ergänzung wollen wir noch hinzufügen, daß die Oberfläche Jupiters oft längere Zeit hindurch in einem verhältnismäßig ruhigen Zustande verharrt, daß sie aber andererseits, wie beispielsweise in der Opposition 1894 und 1895, in lebhafter Thätigkeit sich befindet, und daß Untersuchungen von Ranyard, Lohse u. a. einen gewissen Zusammenhang zwischen den Veränderungen auf der Oberfläche dieses Planeten und der Häufigkeit der Sonnenflecken vermuten lassen.

§ 78. (Rotation und Abplattung Jupiters.) Die wahre Dauer der Rotation Jupiters ist uns noch nicht bekannt, weil die Flecken, die zur Bestimmung derselben benützt werden, ebenso wie die Sonnenflecken je nach der Lage auf dem Planeten verschiedene Werte dafür ergeben. So hat schon D. Cassini, der Erbauer der pariser Sternwarte, aus dem oben erwähnten, von ihm durch 16 Jahre verfolgten Flecken die Rotationsdauer des Planeten zu $9^h\ 55^m\ 52^s$ bestimmt, während ihm ein nahe am Äquator liegender Fleck, den er allerdings nur durch 2 Monate sah, bloß $9^h\ 51^m$ ergab. In gleicher Weise führt der oben beschriebene rote Fleck auf eine Rotationsdauer von etwa $9^h\ 55^m\ 41^s$, während mehrere weiße wolkenartige Gebilde, die 1880 in dem Äquatorialstreifen Jupiters lagen, schon in $9^h\ 50^m\ 6^s$, ja ein anderer Fleck nach Trouvelot sogar schon in $9^h\ 47^m$ eine Revolution vollendeten. Dies veranlaßte A. Belopolsky, das gesamte diesbezügliche, bis zum Jahre 1891 reichende, Beobachtungsmaterial einer eingehenden Diskussion zu unterwerfen, aus welcher hervorgeht, daß im Allgemeinen Flecken vom Äquator bis gegen 5^0 jovicentrischer Breite eine Rotationsdauer von beiläufig $9^h\ 50^m$ besitzen, während Flecken in jovicentrischen Breiten von 10^0 bis 45^0 Werte liefern, die um $9^h\ 55^m$ herumschwanken. In dem dazwischenliegenden Gebiete, d. i. zwischen 5^0 und 10^0 jovicentrischer Breite, kommen beide Werte für die Rotationsdauer vor. Jupiter ist also der Sonne darin ähnlich, daß auch bei ihm die äquatorialen Gegenden eine kürzere Rotationsdauer ergeben, als die in größeren Breiten.

Auf Jupiter kommen indes auch Flecken vor, die überdem noch starke Spezial-Bewegungen zeigen. So hat man schon wiederholt Flecken, die nahezu auf demselben Parallele sich befanden, rasch auseinanderweichen oder rasch sich nähern und im letzteren Falle sogar einander überholen sehen. Außerdem zeigen Flecken, die lange sichtbar bleiben, häufig die Tendenz, die Rotation, namentlich in der ersten Zeit ihrer Sichtbarkeit, zu verlangsamen. So rotierte unser schon vielfach angezogener roter Flecken anfangs (1878—1880) in $9^h\ 55^m\ 35{\cdot}1^s$;

diese Zeit hob sich 1882 bis 1884 auf $9^h\,55^m\,38^s$ und stieg 1887 auf $9^h\,55^m\,40{\cdot}6^s$, bei welchem Werte sie seither sehr nahe stationär geblieben ist. Ebenso fand Denning, daß einige weiße Flecken auf der nördlichen Halbkugel Jupiters in 1886 eine um etwa 8^s kürzere Rotationsdauer hatten als der rote Fleck, während dieselbe 1890 und 1891 nur noch um $2{\cdot}6^s$ kürzer war.

Mit Zugrundelegung einer mittleren Rotationsdauer von $9^h\,50^m$ legt ein Punkt des Äquators in jeder Sekunde 12·6 km, also nahe 28mal mehr als ein Punkt des Erdäquators zurück, während der Mittelpunkt dieses Planeten in seinem Laufe um die Sonne während jeder Sekunde 13 km fortgeht. Diese beiden Geschwindigkeiten, der Rotation und der Revolution, sind also hier vielleicht gar nicht, oder höchstens sehr wenig von einander verschieden, und auch bei Saturn kehrt dasselbe Verhältnis wieder. Die Dauer der Rotation von Uranus und Neptun sind uns nicht bekannt; dort liegt übrigens die Rotationsachse wahrscheinlich nahezu in der Bahnebene. Es herrschen daher auf diesen Planeten ganz andere Verhältnisse als auf Saturn und Jupiter: trotzdem scheint aber auch auf ihnen die Rotation viel rascher vor sich zu gehen als auf den inneren Planeten.

Die schnelle Rotation Jupiters hat auch eine so große Abplattung an seinen Polen bewirkt, daß sie bereits mit schwachen Fernrohren merkbar hervortritt. Sie wurde daher, so viel wir wissen, schon 1673 von Picard erkannt, und bietet noch Grant das älteste Beispiel einer an Himmelskörpern bemerkten Abplattung dar. Dieselbe wurde auch bereits 1691 von D. Cassini, später von Pound, Short u. a. sehr nahe richtig zu $^1/_{13}$ bis $^1/_{15}$ bestimmt, indem nach den Messungen von O. v. Struve in der mittleren Entfernung Jupiters von der Sonne sein äquatorealer Durchmesser 38·3″, sein polarer 35·5″ beträgt, was auf eine Abplattung von $^1/_{14}$ führt. Nach dieser Bestimmung übertrifft der Äquatorealhalbmesser Jupiters die halbe Polarachse desselben um 6700 km, während sich bei der Erde dieser Unterschied nur auf 21 km beläuft. Daß aber die Abplattung mit der Rotationsgeschwindigkeit wachsen muß, ist schon oben (I § 13) gezeigt worden.

§ 79. (Atmosphäre und Konstitution Jupiters.) Die älteren Astronomen hielten alle dafür, daß Jupiter von einer sehr dichten Atmosphäre umgeben sei, in welcher sich so zu sagen als Wolken alle Streifen und Flecken, die wir auf diesem Planeten bemerken, befinden, so daß wir seine Oberfläche eigentlich gar nie zu Gesicht bekommen. Es ist nun allerdings richtig, daß auf Jupiter oft sehr rasche Veränderungen vorgehen und sein Aussehen sich schon wiederholt total geändert hat, daß deshalb die Bildungen, die wir auf ihm bemerken, keine festen, unveränderlichen Oberflächenteile darstellen können, sondern vergänglicher und veränderlicher Natur sein müssen. Allein selbst abgesehen von solchen Gebilden, die sich auf ihm jahrelang fast unverändert erhalten, sind die Bildungen auf seiner Oberfläche im Allgemeinen doch von einer weit größeren Beständigkeit, als es sich mit wolken-

ähnlichen Bildungen im irdischen Sinne gesprochen zu vertragen scheint. Barnard hält deshalb dafür, daß seine Oberfläche aus einem teigartigen, plastischen Stoffe bestehe, und daß die verschiedenen Färbungen der einzelnen Zonen durch Eruptionen aus dem Inneren hervorgerufen werden. Unter dieser Voraussetzung wird es nämlich leicht begreiflich, daß eine aus dem Inneren als dunkler Fleck emporgehobene Masse auf der Oberfläche nach und nach Gestalt und Farbe ändert. Einen Stützpunkt hierfür sucht Barnard auch darin, daß seinen Wahrnehmungen zufolge die rötliche Färbung eines Flecken ein Zeichen seines Alters sei, daß nämlich die Flecken bei ihrem Erscheinen stets sehr dunkel, oft nahezu schwarz sind, und allmählich, durch eine rote und rosa Färbung hindurchgehend, verblassen. Auch Hough ist der Ansicht, daß die Oberfläche Jupiters in einem flüssigen Zustande sei, und daß über derselben eine Atmosphäre sich befinde, in der die weißen Äquatorealflecken, welche die Beschaffenheit von Wolken haben, schwimmen.

Die Konstitution der Oberfläche von Jupiter mag übrigens sein wie sie wolle; so viel steht fest, daß er von einer Atmosphäre umgeben ist. Dies wird zunächst erwiesen durch eine allmähliche Lichtabnahme der Fixsterne, die durch Jupiter bedeckt werden, und den Umstand, daß dessen Scheibe in der Mitte heller ist als an den Rändern. Dies tritt besonders klar bei den Vorübergängen der Satelliten hervor, die man am Rande der Scheibe auf relativ dunklem Grunde zu erblicken meint, die aber beim Fortrücken gegen die Mitte zu verblassen, ja dort nicht selten sogar dunkel auf hellem Grunde zu sein scheinen. Endlich treten im Spektrum Jupiters außer zahlreichen Linien des Sonnenspektrums namentlich in den weniger brechbaren Teilen, d. h. auf der Seite des Rot, Absorptionsstreifen auf, die nach Vogel auf die Anwesenheit von Wasserdampf in seiner Atmosphäre schließen lassen.

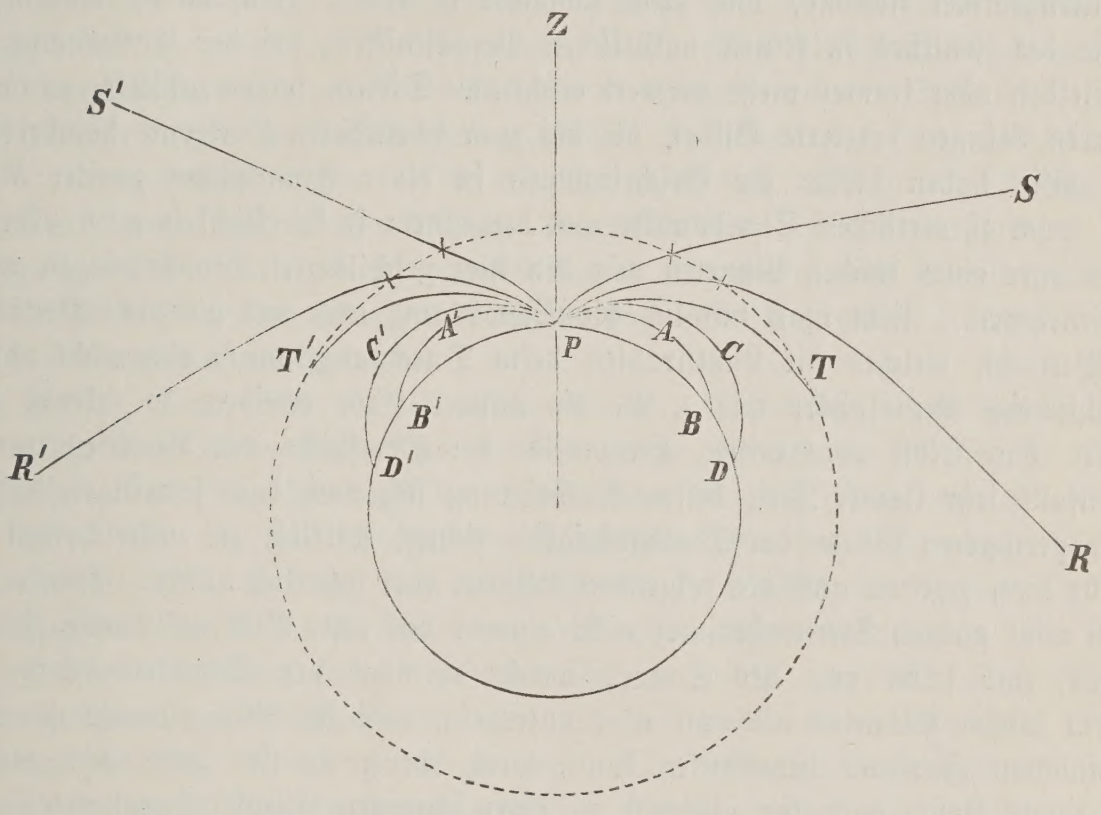
Wenn aber ein so mächtiger Körper wie Jupiter auch nur von einer verhältnismäßig dünnen Atmosphäre umgeben ist, muß die Strahlenbrechung in derselben, wie zuerst Kummer nachgewiesen hat, höchst interessante und merkwürdige Erscheinungen herbeiführen, die von den durch die irdische Refraktion bewirkten ganz verschieden sind. Wir glauben hier auf dieselben umsomehr etwas näher eingehen zu sollen, als sie in neuester Zeit von A. Schmidt einer neuen Sonnentheorie zu Grunde gelegt wurden.

Die Brechung des Lichtes im Luftkreise eines Planeten kann wie in demjenigen der Erde so vor sich gehen, daß alle von einem Punkte seiner Oberfläche ausgehenden Lichtstrahlen in den Weltraum hinaustreten, nachdem sie eine mehr oder weniger starke Ablenkung von ihrer ursprünglichen Richtung erlitten haben. Andrerseits kann aber unter gewissen Verhältnissen auch der Fall eintreten, daß die Lichtstrahlen P, welche von einem Oberflächenpunkte P (Fig. 63) unter einem geringen Neigungswinkel ausgehen wie etwa PA, PC . . . PA', PC' . . . nachdem sie eine gewisse Höhe in der Atmosphäre erreicht haben, eine Umbiegung

erleiden wie bei uns bei den sogenannten Luftspiegelungen (Fata Morgana) und in den Punkten B, D . . ., B', D' . . . wieder zur Oberfläche zurückkehren, von wo sie durch Reflexion abermals in die Atmosphäre aufsteigen, um eine der ersten gleiche Kurve zu beschreiben: ein Spiel, das sich immer weiter fortsetzt. Solche Lichtstrahlen umkreisen daher in Kurven von mehr weniger starker Krümmung und Ausdehnung den Planeten ununterbrochen, ohne in den Weltraum hinauszugehen.

Bei der Vergrößerung des Ausgangswinkels wird man endlich auf einen kommen, wir wollen ihn den kritischen nennen, wo ein Strahl wie PT und PT' zwar nicht mehr zum Planeten zurückkehrt, denselben aber noch in einer (im Holzschnitte durch Punktieren angedeuteten) Kreislinie umläuft, und erst unter

Fig. 63.



einem noch größeren Winkel ausgesendete Strahlen wie PR, PS . . ., PR', PS' . . . können aus der Atmosphäre heraustreten und den Planeten verlassen. Atmosphären von solcher Beschaffenheit bezeichnet Schmidt als Atmosphären zweiter Klasse, die erstgenannten hingegen als solche erster Klasse.

Nach dem eben gesagten erkennt man leicht, daß ein Beobachter auf der Oberfläche eines Himmelskörpers mit einer Atmosphäre zweiter Klasse den Eindruck hat, als ob er sich im Centrum einer schalenförmigen Vertiefung befände, deren Rand, der scheinbare Horizont, um den kritischen Winkel über den wahren sich erhebt. In dem unteren Teile dieser Schale ist die ganze Oberfläche des Planeten bis zu den Antipoden sichtbar und es erscheinen darin die näheren Objekte ziemlich in ihren natürlichen Verhältnissen, die entfernteren aber immer

mehr verzerrt, nämlich verflacht und in die Breite gezogen. An dieses erste untere Bild schließen sich in ununterbrochener Wiederholung zahllose ringförmige Oberflächenbilder mit immer abnehmender Breite bis zum Rande der Schale an.

Dieselben merkwürdigen Umstände treten auch, wie man leicht bemerkt, ein, wenn ein solcher Himmelskörper von Außen, etwa von einem anderen Planeten, betrachtet wird, oder wenn Lichtstrahlen von Außen in seine Atmosphäre eindringen. So ist im ersten Falle für einen Beobachter von einem anderen Gestirne aus die ganze Oberfläche des Himmelskörpers, die vordere und auch die hintere Hälfte, sichtbar, und zwar in einem ersten scheibenförmigen Hauptbilde und in einer zahllosen Reihe diese Scheibe umgebender ringförmiger Bilder. Dementsprechend ist aber auch jedem Bewohner dieses Himmelskörpers der ganze Sternenhimmel sichtbar, und zwar zunächst in einem Hauptbilde, das in der Nähe des Zenithes in seinen natürlichen Verhältnissen, bei der Entfernung von demselben aber immer mehr verzerrt erscheint. Diesem folgen zahllose, zu immer engeren Ringen verzerrte Bilder, die bis zum scheinbaren Horizonte herabreichen.

Wir haben bisher die Erscheinungen in einer Atmosphäre zweiter Klasse bloß vom theoretischen Standpunkte aus betrachtet: in Wirklichkeit wird aber ein Bewohner eines solchen Planeten von den hier geschilderten Wunderdingen wenig wahrnehmen. Zieht man nämlich die Schwächung oder das gänzliche Verlöschen in Betracht, welches die Lichtstrahlen beim Durchgange durch eine nicht absolut durchsichtige Atmosphäre wie z. B. die unserer Erde erleiden, so erkennt man sofort, daß selbst vom ersten, Hauptbilde der Oberfläche des Planeten nur ein jedenfalls sehr kleiner Teil, dessen Ausdehnung sich nach dem jeweiligen höheren oder geringeren Grade der Durchsichtigkeit richtet, wirklich zu unterscheiden sein wird: vom zweiten und den folgenden Bildern aber sicherlich nichts. Ebenso wird auch vom ganzen Sternenhimmel nicht einmal das erste Bild vollständig hervortreten, und selbst von der Sonne, welche vermöge der Strahlenbrechung auf einem solchen Planeten nie auf- oder untergeht, weil ihr Bild niemals unter den scheinbaren Horizont herabsinken kann, wird, wenn sie tief unter dem wahren Horizonte steht, auch ihr alsdann zu einer schmalen Ellipse abgeplattetes erstes Bild dem Auge kaum mehr erkennbar sein. Es wird deshalb in der Nähe des scheinbaren Horizontes anstatt der dort zusammengedrängten unzähligen Bilder des ganzen Himmels und der ganzen Planetenoberfläche nur ein matter, verschwommener Streifen erscheinen.

In gleicher Weise wird auch ein außerhalb eines solchen Planeten befindlicher Beobachter, nicht, wie dies theoretisch der Fall sein sollte, dessen ganze Oberfläche auf einmal überblicken, sondern ebenfalls nur wenig mehr als die Hälfte derselben.

Zu Jupiter zurückkehrend, hat schon Kummer hervorgehoben, daß seine Atmosphäre bereits zu einer Atmosphäre zweiter Klasse wird, falls ihre Dichte auch nur den 20sten Teil der Dichte unserer Atmosphäre beträgt: es ist daher

wohl kaum zweifelhaft, daß dieser Planet von einer Atmosphäre zweiter Klasse umgeben ist.

Wie eingangs erwähnt wurde, nimmt A. Schmidt auch für die Sonne eine Atmosphäre zweiter Klasse in Anspruch, und sucht darauf hin die Sonnenphysik auf eine vollständig neue Basis aufzubauen. Da wir aber über die Konstitution der Sonne, und namentlich auch über die Temperaturverhältnisse auf ihrer Oberfläche noch sehr im Unklaren sind (§§ 27, 28), läßt sich der Charakter der Atmosphäre unseres Centralkörpers schwer beurteilen: es scheint indes, daß Schmidt die Bedeutung dieser Frage in Bezug auf die Erforschung der Natur der Sonne sehr überschätzt hat.

Mehrfach wurde die Vermutung ausgesprochen, daß Jupiter auch eigenes Licht aussende, oder mit anderen Worten, daß er noch an seiner Oberfläche mattglühend sei, weil vermöge seiner großen Masse seine Abkühlung noch nicht so weit fortgeschritten sei, wie bei den kleineren Körpern unseres Systemes. Diese Ansicht schien auch durch eine photographische Aufnahme des Jupiter-Spektrums von Draper aus dem Jahre 1879 bestätigt zu werden. Alle neueren Aufnahmen desselben, sowie die photometrischen Untersuchungen Müller's sprechen aber dagegen, daß Jupiter außer in von der Sonne erborgtem, auch in eigenem Lichte leuchte: es dürfte daher die eben erwähnte vereinzelte Aufnahme Drapers durch einen Plattenfehler entstellt sein.

§ 80. (Klima, Jahres- und Tageszeiten auf Jupiter.) Die Achse seines Äquators ist gegen die Achse seiner Bahn nur um den kleinen Winkel von 3° geneigt, d. h. die Schiefe der Ekliptik beträgt bei Jupiter nur 3°, nahe 8mal weniger als bei der Erde. Da aber der Wechsel der Jahreszeiten von der Größe dieser Schiefe abhängt (I, § 37), so folgt, daß auf Jupiter dieser Wechsel sehr gering, oder daß der Sommer daselbst nur sehr wenig von dem Winter verschieden sein wird. Die Höhe der Sonne ändert sich nämlich für jeden gegebenen Ort während eines ganzen Jupiter-Jahres nur um 6°, während bei uns in einer 12mal kürzeren Zeit diese Änderung 47° beträgt. Die Bewohner des Äquators haben die Sonne des Mittags beinahe immer in ihrem Zenithe, und selbst wenn sie bei der Kulmination am tiefsten steht, ist sie nur 3° von ihrem Scheitel entfernt. Die beiden Pole aber haben abwechselnd durch eine Zeit, die 6 Jahren der Erde gleichkommt, immerwährend Tag oder Nacht. Wenn diese lange Nacht aufhört und die Sonne den Bewohnern der Pole wieder erscheint, um 6 Erdenjahre für sie nicht unterzugehen, so zieht sie doch nur ganz nahe an ihrem Horizonte herum und erhebt sich auch im Mittage nicht mehr als 3° über denselben. Die Bewohner dieses Planeten werden daher den Unterschied ihrer Jahreszeiten vielleicht nur mit Mühe bemerken; desto fühlbarer mag aber dafür der Unterschied der Klimate bereits für Orte werden, die nur um wenige Breitengrade auseinanderliegen. Es ist daher sehr möglich, daß die ziemlich konstanten, dem Äquator parallelen Streifen, von welchen wir oben gesprochen haben, eine Folge dieses

Eindrucks, gleichsam ein stehender Typus der dort so sehr verschiedenen Klimate sein mögen.

Solange übrigens die Jahreszeiten auf diesem Planeten dauern, so kurz sind im Gegenteile wieder die Tageszeiten, da dort Tag und Nacht zusammengenommen noch nicht 10 unserer Erdstunden betragen. Der Unterschied zwischen dem Tage im engern Sinne des Wortes, (d. h. der Anwesenheit der Sonne über dem Horizonte) und der Nacht ist dort, die nächsten Gegenden an den Polen ausgenommen, immer nur sehr klein, und die meisten Orte haben durch das ganze Jahr Tag und Nacht nahe gleich lang, und zwar gleich 5 unserer Stunden. Dieser schnelle Wechsel des Lichtes mit der Finsternis muß auf die Lebensweise der Bewohner dieses Planeten von wesentlichen Einflüssen sein, wenn sie anders so wie wir den Tag ihren Beschäftigungen und Vergnügungen und die Nacht der Ruhe und dem Schlafe widmen. Wenn sie mit ihren Arbeiten jeden Tag zu Ende kommen wollen, so müssen sie in wenigen Minuten vollenden, wozu wir ganze Stunden brauchen, und also vielleicht eine besondere Schnellkraft des Geistes und des Körpers haben.

Die Erscheinungen sind hier so geschildert, als ob Jupiter eine Atmosphäre erster Klasse, d. h. eine solche wie unsere Erde hätte. Die Hauptmodifikation, die sie erleiden, falls Jupiter von einer Atmosphäre zweiter Klasse umgeben ist, besteht, wie schon im vorigen Paragraphen auseinandergesetzt wurde, darin, daß dann die Sonne auf dem ganzen Planeten für keinen einzigen Ort untergeht, indem sie selbst zu jenen Zeiten, welche soeben als Nacht bezeichnet wurden, stets tief am scheinbaren Horizonte sichtbar bleibt, also auf Jupiter überall Verhältnisse herrschen, wie in unseren Polargegenden während ihres Winters.

Kapitel VIII.

Saturn.

§ 81. (Entfernung, Umlaufszeit ꝛc. Saturns.) In einer über 9mal größeren Entfernung als die Erde durchwandelt Saturn mit 8 Satelliten seine weite Bahn um die Sonne in einer Zeit von 29·5 Jahren. Man erkennt ihn an seinem matten weißen Lichte, das auch sein Symbol ♄ dem grauen Blei verschafft haben soll, und, einmal erkannt, wird er immer wieder leicht aufgefunden, da er seinen Ort unter den Sternen nur sehr langsam ändert und 2·5 Jahre in demselben Zeichen des Tierkreises verweilt. In seiner mittleren Bewegung legt er in jeder Sekunde nur 9·6 km zurück, geht also 5mal langsamer als Merkur und selbst noch 3·5mal langsamer als die Erde. So zieht er, der alte Gott der Zeit, von dem er auch das Zeichen der Sense entlehnte, langsam und unbemerkt wie diese Zeit selbst, seinen Weg von 8900 Millionen km um die Sonne, die ihm in der

großen Entfernung, in welcher er von ihr absteht, nur noch unter einem Durchmesser von 3·3′, also 9·5 mal kleiner als uns erscheint. Die ganze Oberfläche der Sonne erscheint aber in dieser Ferne 90 mal kleiner als auf der Erde; daher ist auch die Beleuchtung, die Saturn von der Sonne erhält, 90 mal geringer als unsere Tageshelle, so daß der schönste Mittag auf diesem Planeten nur unserer tiefen Dämmerung, unmittelbar vor dem Einbruche der Nacht, zu vergleichen ist. Seine mittlere Entfernung von der Sonne beträgt 1420 Millionen km. Ein 30 km in der Stunde, also sehr schnell segelndes, Schiff würde erst in 5400 Jahren diese Distanz zurücklegen; das Licht aber mit seiner unbegreiflichen Geschwindigkeit kommt schon in $1^h\ 19^m$ von der Sonne bis zu Saturn.

Wegen der nicht unbeträchtlichen Excentrizität seiner Bahn kann sich Saturn bis auf 1340 Millionen km der Sonne nähern und bis 1500 Millionen km von ihr entfernen. Von der Erde aber ist sein Abstand zu verschiedenen Zeiten noch viel mehr verschieden, indem er sich ihr bis auf 1200 Millionen km nähern und bis 1650 Millionen km von ihr entfernen kann.

Sein wahrer Durchmesser beträgt 123 700 km, also nicht viel weniger als der des Jupiter und nahe 10 mal mehr als der der Erde. Wenn er der Erde am nächsten steht, so erscheint sein Durchmesser unter dem Winkel von 21″, in seiner größten Entfernung aber nur unter 15″. An Oberfläche übertrifft er die Erde 88 mal und an körperlichem Inhalte 823 mal, so daß man also aus ihm 823 der Erde gleiche Kugeln bilden könnte. Allein die Masse, aus der er besteht, ist nur der 3502te Teil der Sonnenmasse oder 92 mal größer als die Masse der Erde. Daraus folgt, daß die Dichtigkeit dieser Masse ungemein gering, nur etwa der zehnte Teil der Dichte der Erdmasse ist. Diese Masse ist überhaupt die lockerste von allen Planetenmassen und nur nahe zweimal so dicht wie die unseres Korkholzes. Was endlich die Kraft der Schwere betrifft, so wirkt sie auf diesem Planeten nahe ebenso wie auf der Erde; die Körper fallen nämlich daselbst in der ersten Sekunde durch 4·0 m.

§ 82. (Streifen und Atmosphäre Saturns.) Auch Saturn ist mit solchen Äquatorealstreifen versehen wie Jupiter, mit dem er überhaupt viele Analogien zeigt (§ 77); sie sind sogar noch breiter, aber an Farbe weniger vor der übrigen Fläche des Planeten ausgezeichnet, und lassen auch weniger Detail erkennen, was wegen der matten Färbung Saturns und wegen seiner doppelten Entfernung sehr begreiflich ist. An den Polen desselben sind dunklere Kappen vorhanden, von denen älteren Beobachtern, wie W. Herschel bald die eine, bald die andere heller zu sein schien.

In den Streifen Saturns gehen zeitweilig sehr bedeutende Veränderungen vor sich, und es treten zuweilen, ebenso wie bei Jupiter, dunkle und helle, ziemlich stationäre Flecke in ihnen auf. So sah Stanley Williams in den Oppositionen seit 1891 mit verhältnismäßig geringen optischen Mitteln eine Reihe heller Flecken im Äquatorialgürtel des Planeten, und seit 1893 in einem Doppelstreifen der nördlichen Halbkugel mehrere Gruppen dunkler Punkte. Diese Ge-

bilde wurden sonderbarerweise auch bei der Opposition von 1894 von Williams ohne Schwierigkeit gesehen, während sie Barnard selbst mit dem großen Refraktor der Lick-Sternwarte nicht wahrnehmen konnte.

Im Spektrum Saturns fand schon Vogel im Jahre 1874, ganz ähnlich wie beim Jupiter, im Rot und Orange stärkere Absorptionsbänder, während die Strahlen am blauen Ende des Spektrums wieder eine gleichmäßige Absorption erfahren. Diese Wahrnehmungen wurden in neuerer Zeit von Keeler bestätigt: sie lassen auf eine dichte Atmosphäre Saturns und auf eine ähnliche physische Beschaffenheit desselben wie die Jupiters schließen.

§ 83. (Rotation und Abplattung Saturns.) Aus der Beobachtung einer mehrere Monate andauernden auffälligen Einbuchtung eines Streifens auf der Südhalbkugel Saturns schloß bereits 1793 W. Herschel auf eine Rotation des Planeten von $10^h\ 16^m\ 0^s$. Eine zweite Bestimmung dieser Rotationsdauer gelang erst 1876, also 83 Jahre später, A. Hall mit dem großen Refraktor der Sternwarte in Washington an einem hellen, ziemlich großen, wohl begrenzten Flecken in der Äquatorialregion Saturns: sie lieferte dafür in naher Übereinstimmung mit Herschel $10^h\ 14^m\ 24^s$.

Die genauesten Bestimmungen dieses Elementes stammen aber von St. Williams an den obenerwähnten hellen Äquatorialflecken und den dunklen auf der Nordhalbkugel. Was nun zunächst die hellen Äquatorialflecken betrifft, folgerte er aus ihnen im Mittel für die Rotationsdauer:

1891:	10^h	14^m	$21{\cdot}8^s$	(aus 5 Flecken)
1892:	13	38·2	(= 5	=)
1893:	12	59·4	(= 4	=)
1894:	12	35·8	(= 15	=)

Man sieht daraus, daß die Rotationszeit der Flecken sich Jahr für Jahr erheblich verkürzt hat. Noch interessanter ist es jedoch, daß die Rotationszeit verschiedener Meridiane verschieden zu sein scheint. So waren 1894 die 15 Flecken auf drei Gruppen verteilt und zwar:

a)	Länge	0^0	bis	80^0	Rotationsdauer	10^h	13^m	$1{\cdot}7^s$ (3 Flecken)
b)	=	80	=	160	=	12	40·0	(3 =)
c)	=	160	=	360	=	12	25·8	(9 =)

Etwas ähnliches hatte sich bereits 1893 gezeigt, wo ein fünfter, in der Abteilung c gelegener Fleck für die Rotationsdauer $10^h\ 12^m\ 45{\cdot}9^s$ ergeben hatte, also $13{\cdot}6^s$ weniger als das Mittel der anderen 4 oben angesetzten, die in Längen zwischen 0^0 und 140^0 lagen.

Die dunklen Flecken befanden sich 1893 und 1894 zwischen dem $17.^0$ und $27.^0$ nördlicher kronocentrischer Breite: sie lieferten für die Rotationszeit im Mittel:

1893:	10^h	14^m	$44{\cdot}7^s$	(12 Flecken)
1894:	15	9·8	(11	=)

Hier hat sich die Rotationsdauer von 1893 auf 1894 verlängert, und nicht wie bei den Äquatorialflecken verkürzt. Sie ist aber beide Jahre erheblich länger als die jener, ganz analog derselben Erscheinung, der wir schon bei Sonne und Jupiter begegneten (§§ 18, 78). Übrigens hat sich auch bei diesen Flecken eine Abhängigkeit der Rotationsdauer, von der kronocentrischen Länge ergeben, und zwar eine noch ausgesprochenere als bei den Äquatorialflecken.

	1893			1894		
Gruppe	Länge	Rotat.-Dauer	Zhl. d. Fl.	Länge	Rotat.-Dauer	Zhl. d. Fl.
a	45^0—140^0	$10^h\,14^m\,29{\cdot}1^s$	5	30^0—130^0	$10^h\,14^m\,57{\cdot}3$	4
b	175 —340	15 0·7	6	140 —200	14 44·2	4
c	340 —45	14 40·3	1	240 —360	15 48·0	3

Der Äquator Saturns ist gegen dessen Bahn unter einem Winkel von nahe 30^0 geneigt, woraus folgt, daß die Jahreszeiten auf ihm stärker verschieden und schärfer bezeichnet sind als die der Erde, während sie, wie wir gesehen haben, auf Jupiter beinahe gar nicht verschieden sind.

Die schnelle Umdrehung Saturns läßt auch eine starke Abplattung an seinen Polen erwarten. In der That fand auch schon W. Herschel diese Abplattung gleich dem elften Teile der halben Äquatorialachse, und zahlreiche neuere, von verschiedenen Astronomen ausgeführte Messungen haben stets zu ähnlichen Resultaten geführt.

§ 84. (Das Ringsystem Saturns.) Wenn man diesen Planeten durch ein auch nur sehr schwaches Fernrohr beobachtet, so bemerkt man sogleich, daß er von der runden Gestalt der übrigen Himmelskörper abweicht und eine auffallend elliptische oder eiförmige Gestalt hat, die Stoddart unter dem reinen Himmel Persiens 1852 sogar mit freiem Auge wahrgenommen haben will. Galilei erkannte daher, als er das damals eben erfundene Fernrohr, ein sogenanntes holländisches zuerst zur Erweiterung unserer Kenntnis des gestirnten Himmels anwendete, sogleich, daß der Planet eine sehr sonderbare Form habe, welche er in einem Briefe vom 13. November 1610 an den österreichischen Gesandten beim Großherzog von Toscana, wie folgt beschreibt: „Wenn ich Saturn mit einem Fernrohre, das öfter als 30mal vergrößert, beobachte, erblicke ich einen großen Stern in der Mitte: zwei andere kleine Sterne befinden sich, der eine östlich, der andere westlich in einer Linie, welche nicht mit der Richtung des Äquators zusammenfällt, und scheinen den mittleren zu berühren. Sie erscheinen mir wie 2 Diener, welche dem bejahrten Saturn aufwarten, mit ihm weiter wandern, und nie von seiner Seite weichen. Mit einem Fernrohre von geringerer Vergrößerung erscheint der Stern länglich, in Gestalt einer Olive." Geradezu verblüfft war aber Galilei, als er einige Jahre später Saturn wieder beobachtete und bemerkte, daß die „2 Diener" verschwunden seien: er konnte sich dies nur dadurch erklären, daß seine früheren Wahrnehmungen Täuschungen oder optische Illusionen gewesen seien.

Nach diesen ersten Beobachtungen blieb die wahre Beschaffenheit Saturns den Astronomen noch durch ein volles halbes Jahrhundert ein ungelöstes Rätsel. Hevel, der diesen Planeten in den Jahren 1647 bis 1656 eifrig verfolgte, und Gassendi, der dies in den Jahren 1636 und 1650 that, bemerkten wohl, daß die 2 kleinen Seitenkugeln mit der großen Kugel durch Arme oder Henkel zusammenhängen, und daß Saturn seine Gestalt überhaupt von Jahr zu Jahr auf eine sehr sonderbare Weise ändere; aber sie konnten doch den eigentlichen Grund dieser auffallenden Veränderungen nicht entdecken, weshalb Hevel in seinem Werke De Saturni facie, Danzig 1656, eine Menge von sonderbaren Namen angab, durch welche er die verschiedenen Gestalten dieses Planeten näher bezeichnen wollte. Hodierna war der Meinung, daß Saturn die Gestalt eines Eies habe, mit zwei dunklen Flecken an den beiden Seiten, und daß die Abwechslung seiner Gestalt von einer Umdrehung dieses Eies um seine Achse komme, u. s. w.

Erst dem vortrefflichen Astronomen und großen Beobachter Ch. Huyghens gelang es im Jahre 1655 durch ein von ihm selbst verfertigtes, für seine Zeit sehr gutes Fernrohr, die wahre Gestalt dieses Planeten zu ergründen. Er veröffentlichte, der Sitte der damaligen Zeit gemäß, seine Entdeckung zunächst durch das Anagramm:

Aaaaaaaccccccdeeeeeghiiiiiiiillllmmnnnnnnnnnnoooooppqrrsttttttuuuuuu.

für welches er 1659 in seinem „Systema Saturnium“ die Lösung gab:

Annulo cingitur, tenui plano, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato.

Gegen diese Erklärung wurden allerdings anfangs eine Menge Einwände erhoben, wie dies bei allen wichtigen Entdeckungen zu geschehen pflegt, die den Neid anderer nachrufen: alle besonnenen, besseren Astronomen erkannten aber sofort die Wahrheit derselben und bemühten sich, die Entdeckung von Huyghens zu verfolgen und in deren einzelnen Teilen durch ihre eigenen Beobachtungen immer mehr zu vervollkommnen. So bemerkte schon 1675 Cassini, daß der Saturnsring eigentlich ein doppelter, mit sich und dem Planeten konzentrischer sei, und daß der äußere, schmälere von dem anderen, beiläufig in derselben Ebene liegenden Ringe durch einen Zwischenraum getrennt ist, welcher wie ein dunkles Band von der breiten Fläche des ganzen Ringes sich abhebt. Short, Hadley u. a., welche diese Trennung der Ringe durch ihre Beobachtungen bestätigten, bemerkten noch, daß der innere Ring heller sei als der äußere, und daß auch die Farbe Saturns von der seiner Ringe verschieden sei. Herschel fand jenen gelblich und diese lebhaft weißlich gefärbt.

Schon am Ende des vorigen Jahrhunderts glaubten manche Beobachter wie Short und Herschel außer der eben erwähnten sog. Cassini'schen Teilung noch auf dem äußeren schmäleren Ringe Andeutungen einer weiteren Teilung in einer äußerst zarten, feinen dunklen Linie zu sehen, die in neuerer Zeit von Kater, Encke, Jakob, Bond, Struve u. a. wiederholt sehr deutlich wahrgenommen wurde, zu anderen Zeiten aber nicht wieder erkannt werden konnte.

So sah im Jahre 1894 Barnard diese Teilung nie, obwohl er sie früher wahrgenommen hatte. Außer dieser einen ist übrigens auch wiederholt von weiteren Teilungen auf dem äußeren Ringe gesprochen worden, wie beispielsweise 1888 von einer solchen durch Keeler, die 1889 Barnard noch erblickte, seither aber nicht mehr. Es ist daher wahrscheinlich, daß die Teilungen des äußeren Ringes keine konstanten, sondern nur temporäre sind.

Im Dezember 1850 entdeckte G. P. Bond, dem wir eine schöne Monographie dieses merkwürdigen Planeten verdanken, noch einen, aber dunkleren Ring am Saturn, der von den andern hellen Ringen konzentrisch umschlossen wird und um dieselbe Zeit auch von Dawes und Lassell aufgefunden wurde. Spuren dieses Ringes bemerkten schon 1664 Campani, 1673 Picard, 1715 Cassini, bald darauf Hadley, endlich in den Jahren 1838 und 1839 Galle; der letztere hielt aber diesen schwachen Lichtschimmer zwischen der Saturnkugel und dem innern Ringe für keinen besonderen Ring, sondern betrachtete ihn nur als eine Fortsetzung des inneren hellen Ringes, die noch das halbe Intervall bis zum Saturn ausfüllt.

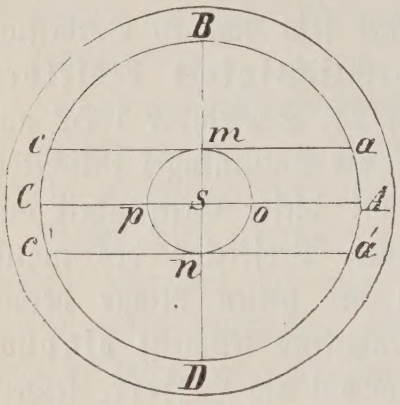
Dawes und Lassell haben uns noch mit einer sehr schönen Entdeckung am dunkeln Ringe beschenkt, nämlich der Durchsichtigkeit desselben. Dawes bemerkt in seinem Beobachtungsjournal am 25. September 1852 ausdrücklich, daß die Projektion des dunklen Ringes auf der Saturnkugel entschieden nicht vollkommen schwarz aussieht und hebt bei dieser Gelegenheit auch den auffallenden Kontrast zwischen der dunkelgrauen Projektion des matten Ringes und dem vollkommen schwarzen Schatten der hellen Ringe hervor, was wahrscheinlich mache, daß der matte Ring wenigstens teilweise diaphan sei. In Übereinstimmung damit konnten Dawes sowohl als Lassell, letzterer mit seinem auf Malta aufgestellten 20 füßigen Teleskope, durch den dunklen Ring sehr deutlich die Saturnkugel sehen. Diese Beobachtungen hat 1894 Barnard dahin erweitert, daß die Helligkeit des dunklen Ringes von innen nach außen ziemlich rasch zunimmt, und daß derselbe ohne scharfe Grenze in den inneren hellen übergeht. Hand in Hand damit nimmt die Durchsichtigkeit desselben von innen nach außen ab, indem die Kugel Saturns nur durch seine inneren, matteren Partien, nicht aber bis zum hellen Rande hindurchscheint. Diese Beobachtungen werden sehr schön bestätigt durch die Wahrnehmungen, die ebenfalls Barnard am 1. November 1889 bei Gelegenheit der Bedeckung des Saturnmondes Japetus durch Saturn und sein Ringsystem machte. Die Helligkeit des Mondes nahm, als er hinter den dunklen Ring trat, anfangs langsam, dann sehr rasch ab, bis er verschwand, noch ehe er in den Schatten des hellen Ringes eingetreten war. Otto v. Struve glaubt im Jahre 1851 auch auf dem dunklen Ringe eine Teilung, ähnlich der Cassini'schen, wahrgenommen zu haben, die aber weder 1882 von ihm noch seither von einem anderen Beobachter wiedergesehen wurde. Im Zusammenhalte mit dem oben

über die Teilungen im äußeren Ringe mitgeteilten spricht dies wieder dafür, daß in den Ringen auch jetzt noch sehr bedeutende Veränderungen vor sich gehen.

Außerdem sei noch erwähnt, daß das Zentrum der Ringe nicht mit dem Mittelpunkte Saturns zusammenzufallen scheint, worauf schon Schwabe, Harding, Herschel, South u. a. aufmerksam machten, und daß nach neueren Messungen von Schiaparelli und Meyer auch die Ringe nicht ganz konzentrisch zu einander sein dürften.

Das Ringsystem hat, nach Bessel's Bestimmungen, mit welchen die neueren Beobachtungen von Hall und Holden sehr nahe übereinstimmen, eine Neigung von 28° gegen die Ekliptik, und die Länge seines aufsteigenden Knotens in der Ekliptik bei 167°. Wegen dieser Neigung erscheint der in der That kreisförmige Ring von der Sonne sowohl als auch von der Erde gesehen immer nur in der Gestalt einer Ellipse, und zwar einer veränderlichen Ellipse, deren konstante große Halbachse in der mittleren Entfernung Saturns rund 20″ mißt, deren veränderliche kleine Halbachse aber höchstens gleich 9·5″ sein kann und öfters sogar bis auf eine ganz verschwindende Größe abnimmt, wo dann der Ring als eine gerade Linie erscheint oder auch ganz unsichtbar wird. Tafel VI, Fig. 2 stellt nach einer trefflichen Zeichnung von De la Rue vom 27. März 1856 Saturn mit seinem Ringe ziemlich in der größtmöglichen scheinbaren Öffnung des letzteren so dar, daß sein uns sichtbarer Südpol oben liegt.

Fig. 64.



Daß der Ring sowie die Kugel Saturns ihr Licht nur von der Sonne erhalten, folgt schon daraus, daß man oft genug deutlich den Schatten sieht, welchen Saturn auf seinen Ring und umgekehrt der Ring auf den Körper Saturns wirft. Im Spektrum der Ringe fehlt ein für das Spektrum Saturns sehr charakteristisches Absorptionsband im Rot, und es ist im ganzen heller als das der Kugel, was sich so wie die größere Helligkeit der Ringe überhaupt ungezwungen daraus erklärt, daß dieselben keine Atmosphäre besitzen.

Das Licht, welches uns die Kugel Saturns in mittleren Oppositionen zusendet, beträgt nach Zöllner den 131 000millionsten Teil des Sonnenlichtes, und kann durch den Ring bei dessen größter Öffnung auf mehr als das Doppelte gesteigert werden.

§ 85. (Verschiedene Gestalten des Ringes von Sonne und Erde aus gesehen.) Wir haben im vorigen Paragraphen mehrmals erwähnt, daß Saturn zu verschiedenen Zeiten ein sehr verschiedenes Aussehen darbietet, und daß sein Ring hin und wieder sogar ganz unsichtbar wird. Wegen der Wichtigkeit des Gegenstandes für die Bestimmung der Lage der Ebene des Ringsystemes und wegen des Interesses, das er überhaupt beansprucht, wollen wir jetzt etwas näher darauf eingehen,

vorerst aber noch hervorheben, daß die Ringe ihre Neigung von 28° gegen die Ebene der Ekliptik im Allgemeinen während des ganzen Umlaufes um die Sonne beibehalten und sich selbst immer parallel bleiben.

Sei S (Fig. 64) die Sonne, mn die kreisförmige Bahn der Erde und ABCD die des Saturn. Nehmen wir an, daß die Linie ASC die Knotenlinie (I, § 80) des Ringes in der Ekliptik sei, so daß also der aufsteigende Knoten A in der Länge von 167° und der niedersteigende C in der Länge von 347° liege. Auf diese Knotenlinie senkrecht sei der Durchmesser BD gezogen. Wenn nun Saturn in dem Punkte A ist, oder wenn er, von der Sonne aus gesehen, die Länge 167° hat, so schneidet die Ebene seines Ringes die Ekliptik in der Linie ASC, oder diese Ebene geht durch die Sonne S, und der Ring kann sonach bloß in seiner schmalen Kante oder der Dicke nach von der Sonne beleuchtet werden. In diesem Augenblick erscheint er also einem Auge in der Sonne nur als eine gerade Linie oder in der Gestalt der Fig. 65. Wie aber Saturn aus diesem Punkte A weiter gegen B fortrückt, so beleuchtet auch die Sonne die südliche Seite des Ringes immer mehr, und der Ring wird daher dem Auge in der Sonne immer breiter erscheinen, bis er, wenn Saturn in B sich befindet, am weitesten geöffnet ist und die Gestalt von Fig. 66 hat, wo der nördliche Teil des Ringes jenseit der Kugel und der südliche diesseit steht. Wie dann Saturn weiter gegen C fortrückt, wird der Ring wieder enger, bis er in C, in dem absteigenden Knoten, wieder nur seine Kante erleuchtet hat und als eine gerade Linie wie in Fig. 67 erscheint. Von C gegen D wird die Sonne immer mehr auf der nördlichen Seite des Ringes vorrücken und dieser daher immer breiter erscheinen, bis er in D am breitesten ist und die Gestalt Fig. 68 hat, wo der nördliche Teil des Ringes diesseit der Kugel und der südliche jenseit liegt.

Fig. 65

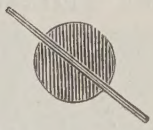


Fig. 66

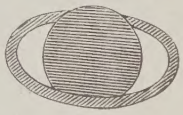
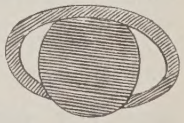


Fig. 67.

Fig. 68.



Von der Sonne gesehen, erscheint also Saturn während jeder seiner Revolutionen um die Sonne, d. h. während 29·5 Jahren, zweimal ohne Ring, wenn Saturn die heliocentrische Länge 167° oder 347° hat, und zweimal am weitesten geöffnet, wenn er die heliocentrischen Längen von 257° und 77° hat. Die Intervalle zwischen diesen Erscheinungen betragen 7·4 Jahre, an deren Anfang und Ende der Ring immer am kleinsten und am größten erscheint.

Wenn daher Saturn in einem der beiden Knoten seines Ringes ist, so wird von diesem Ringe nur die schmale Kante durch die Sonne beleuchtet, und der ganze Ring wird dann nicht bloß für das Auge in der Sonne, sondern auch für uns, für die Erde verschwinden, wenn anders unsere Fernrohre nicht stark genug sind, den schmalen Lichtstreifen, welchen diese Kante bildet, noch sichtbar zu machen, wo uns dann der Ring als eine feine gerade Linie erscheinen

wird. Dies tritt ein, wenn Saturn im östlichen Teile des Sternbildes des Löwen und im östlichen Teile des Wassermannes steht, während man den Ring in seiner größten Öffnung in den Hörnern des Stieres und zwischen dem Skorpion und dem Schützen sieht.

Allein der Ring kann außerdem für die Erde noch aus anderen Ursachen verschwinden. Wenn nämlich erstens die Ebene des Ringes durch die Erde geht, so sehen wir keine seiner beiden breiten Seiten; wir sehen dann bloß die Kante des Ringes, d. h. wir sehen ihn gar nicht. Dies ist z. B. der Fall, wenn die Erde (Fig. 64) in m und Saturn in a oder c ist, wo dann die Ebene des Ringes die Ekliptik in der Linie amc schneidet und durch das Auge des Beobachters in m geht. Wenn aber auch dies nicht der Fall ist, sondern wenn nur zweitens die erweiterte Ebene des Ringes zwischen Erde und Sonne hindurchgeht, so kann der Ring auch schon für uns unsichtbar werden. Wenn z. B. die Erde in n und Saturn zwischen A und a' oder zwischen C und c' ist, so liegt die Ebene des Ringes zwischen n und S, und da hier die dunkle Seite desselben zur Erde in n gekehrt ist, so können wir ihn nicht sehen. Dasselbe kann sich ereignen, wenn überhaupt die Erde irgendwo in der Hälfte pno ihrer Bahn ist, während Saturn zwischen den Punkten A und a' oder C und c' sich aufhält, und ebenso, wenn die Erde in der andern Hälfte pmo ihrer Bahn und Saturn zwischen den Punkten A und a oder zwischen C und c steht.

Man bemerkt übrigens von selbst, daß diese beiden Arten von Verschwindungen des Ringes immer kurz vor oder nach der Epoche statthaben müssen, wo die Ebene desselben durch die Sonne geht. Denn da die Erdbahn gegen die des Saturn nur klein ist, so fällt die Ebene des Ringes durch je 14 Jahre ganz außer die Erdbahn, so daß also dann die Erde immer der von der Sonne beleuchteten Seite des Ringes zugekehrt ist, und nur am Ende dieser Periode hat die Ringebene, etwa ein Jahr durch, eine solche Lage, daß sie, verlängert, die Erdbahn schneiden kann. Die beiden Fälle, wo die Ebene des Ringes entweder durch die Sonne oder durch die Erde geht, geben offenbar nur ein momentanes Verschwinden desselben, während der dritte Fall, wo die Ebene des Ringes zwischen Sonne und Erde liegt, den Ring durch mehrere Wochen für die Erde unsichtbar machen kann.

Von 0° bis 90° Abstand vor dem aufsteigenden und nach dem niedersteigenden Knoten liegt die zur Erde gekehrte Hälfte des Ringes über, und von 0° bis 90° nach dem aufsteigenden und vor dem niedersteigenden Knoten liegt diese Hälfte des Ringes unter dem Mittelpunkte der Kugel des Saturns.*)

*) Alles, was sich über die Gestalt des Saturnringes, wie er von der Sonne oder auch von der Erde gesehen wird, sagen läßt, ist in dem folgenden kurzen Ausdruck enthalten:

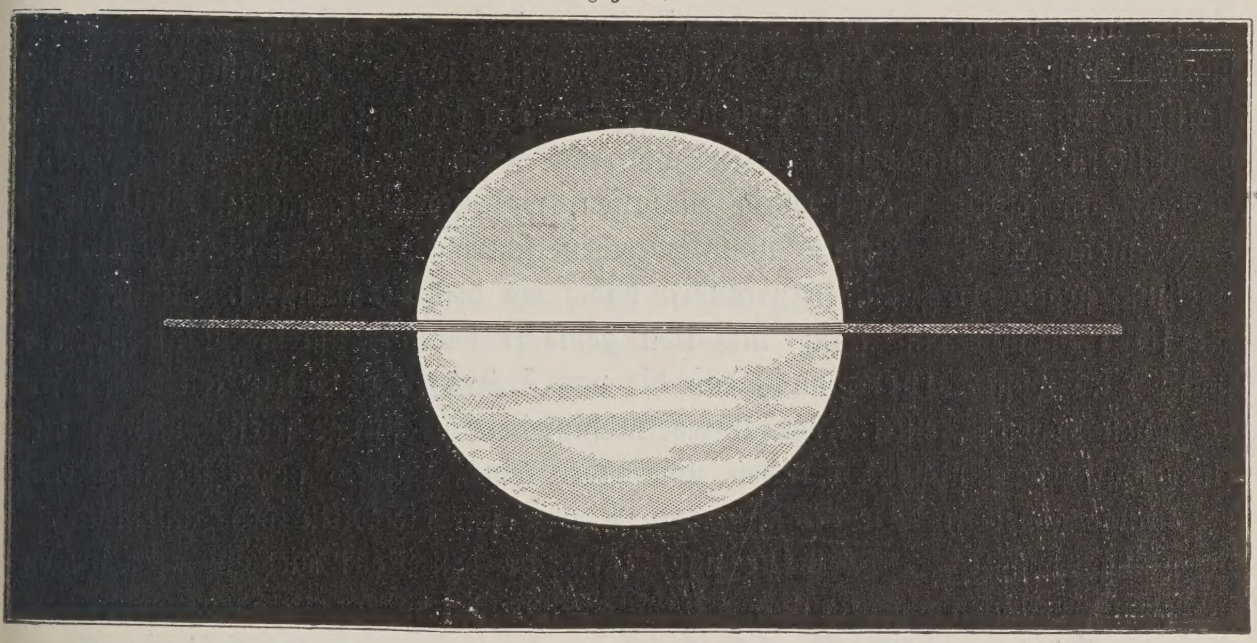
$$b = \text{Sin } n \text{ Sin } m.$$

In demselben bezeichnet b die scheinbare kleine Halbachse der Ellipse des Ringes, wenn die große gleich der Einheit angenommen wird; $n = 28° 22'$ ist die Neigung der Ringebene gegen

Fig. 69 giebt den Anblick Saturns am 6. Oktober 1848 nach G. P. Bond. Die Ebene des Ringes war am 12. September 1848 durch die Erde gegangen; die unbeleuchtete Seite desselben blieb der Erde zugekehrt bis 18. Januar 1849, wo die Ringebene abermals durch die Erde ging.

§ 86. (Rotation und physische Beschaffenheit des Ringsystemes.) Zur Zeit, wo nur die scharfe Kante der Ringe von der Sonne beschienen wird, hat man die feine Lichtlinie derselben wiederholt unterbrochen gesehen, gleichsam als ob sie aus mehreren geraden Linien bestände, die sich abwechselnd trennen und wieder vereinigen. Außerdem hat man aber auch öfter auf der feinen Lichtlinie mehrere helle Punkte wahrgenommen, die man früher für Gebirge hielt, in denen einzelne Kuppen bis zu der enormen Höhe von 1500 km über die Ebene der Ringe emporsteigen

Fig. 69.



sollten. Einfacher lassen sich indes nach Bond diese und ähnliche Erscheinungen durch gegenseitige Lichtreflexe der Ringkanten auf einander erklären, wenn man

die Ekliptik, und m ist gleich der Länge des Knotens 166° 50′ weniger der heliocentrischen Länge Saturns, wenn man die von der Sonne gesehene Gestalt der Ellipse sucht — oder gleich 166° 50′ weniger der geocentrischen Länge Saturns, wenn man die von der Erde gesehene Gestalt der Ellipse kennen lernen will. Ist im ersteren Fall $b = o$, so verschwindet der Ring, oder er erscheint nur als eine gerade Linie, weil seine erweiterte Ebene durch die Sonne geht. Ist aber b negativ, also m größer als 180°, so wird die Nordseite des Ringes von der Sonne beleuchtet, und umgekehrt. — Ist im zweiten Falle $b = o$, so verschwindet der Ring für uns, weil die erweiterte Ebene desselben durch die Erde geht. Ist aber b negativ, so bedeutet dies, daß die Nordseite des Ringes gegen die Erde gekehrt ist. Endlich ist für die verschiedenen Werte von m der Ring für die Erde auch dann unsichtbar, wenn der Wert von b im ersten Falle ein anderes Zeichen hat als im zweiten, weil dann die von der Sonne beleuchtete Seite des Ringes von der Erde weggewendet ist. Man sieht sonach, daß man durch jene einfache Gleichung die von der Sonne oder auch von der Erde gesehene Gestalt des Ringes für jede Zeit angeben kann, für welche man die heliocentrische oder geocentrische Länge Saturns kennt.

annimmt, daß die einzelnen Ringe nicht genau in derselben Ebene liegen, sondern kleine Neigungen gegen einander und gegen den Äquator Saturns haben, was schon an und für sich sehr wahrscheinlich ist, und auch durch anderweitige Beobachtungen angedeutet wird. Übrigens mögen hierbei zuweilen auch wirkliche Veränderungen mitwirken, die auf den Ringen vorgehen und in ihrer Konstitution, auf die wir sogleich zu sprechen kommen, begründet sind, worauf auch sonderbare Umrisse des Schattens der Kugel auf den Ringen, die man manchmal bemerkt hat, hinweisen.

Die auf den Ringen bemerkten Ungleichheiten forderten gleichsam W. Herschel, der seiner Zeit mit den besten Fernrohren der Welt ausgerüstet war, heraus, durch sie die Rotation des Ringes zu bestimmen, und er war auch in der That so glücklich, sie bereits 1789 auf etwa 10·5 unserer Stunden feststellen zu können. Dieses Resultat wurde vielfach bestritten, zunächst am Anfange unseres Jahrhunderts von Schröter und Harding. Der erstere führte dagegen namentlich den Umstand an, daß er zwei helle Punkte, den einen auf der westlichen, den anderen auf der östlichen Anse immer in derselben unverrückten Lage wahrnehme, und dieselben einmal, um keinen Zweifel übrig zu lassen, während einer ganzen Winternacht durch mehr als 8 Stunden ununterbrochen überwacht und stets in derselben Stellung gegen den Planeten gefunden habe, wo doch die Ringe inzwischen nach Herschel beinahe eine ganze Rotation gemacht haben müßten. Einige Jahre später wies wohl Olbers nach, daß die von Schröter an den Ecken der Ansen gesehenen hellen Stellen keine Unregelmäßigkeiten der Ringe seien, sondern auf einer optischen Täuschung beruhen und daher keinen Beweis gegen die Rotation der Ringe abgeben: diese Rotation wurde aber um die Mitte des Jahrhunderts neuerdings von J. F. Schmidt und Schwabe bestritten: diesmal aber wegen der eben erwähnten eigentümlichen Erscheinungen beim Verschwinden der Ringe. Erst im Frühjahre 1895 ist es J. Keeler gelungen, auf spektroskopischem Wege mit Hilfe des Doppler'schen Prinzipes (vgl. § 19) die von Herschel gefundene Rotationsdauer zu verifizieren und durch den Nachweis zu ergänzen, daß die inneren Ringe rascher rotieren als die äußeren, und zwar alle mit der Geschwindigkeit, mit welcher ein Mond an der betreffenden Stelle um Saturn sich bewegen würde. Dies Resultat ist deshalb sehr wertvoll, weil es einen direkten Nachweis dafür erbringt, daß der Saturnsring keine einzige, kompakte Masse sein kann.

Das Ringsystem muß übrigens schon aus theoretischen Gründen um Saturn rotieren, weil sonst bei der geringsten Störung des Gleichgewichtes die Ringe unausbleiblich auf den Planeten stürzen würden. Erst die Rotation um eine Achse, die senkrecht auf ihrer Ebene steht und sehr nahe durch den Mittelpunkt Saturns geht, kann den Ringen dadurch eine gewisse Stabilität verleihen, daß die Anziehungskraft des Planeten durch die Centrifugalkraft aufgehoben wird. Laplace, der diesen Gegenstand zuerst einer strengeren Analyse unterwarf, wies weiter nach, daß selbst bei einer Rotation der Ringe geringe äußere Störungen

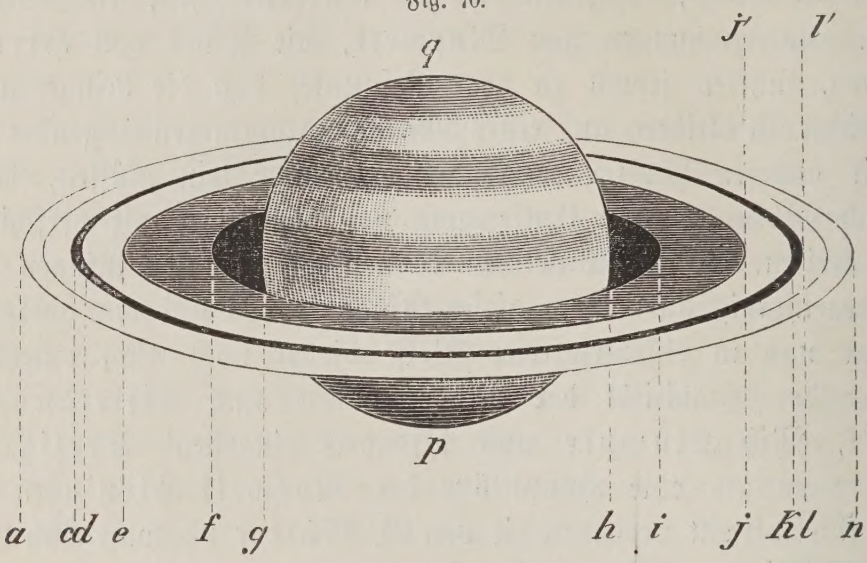
auch dann noch das Gleichgewicht vernichten würden, wenn sie symmetrisch und homogen gebaut wären. Laplace schließt daraus, daß das Ringsystem aus einer größeren Anzahl konzentrischer Ringe bestehen müsse, und zwar entweder aus festen mit bedeutenden Unregelmäßigkeiten oder aus flüssigen. Für die letztere Alternative entschieden sich Peirce und Bond, weil den Beobachtungen zufolge die Teilungen der Ringe, abgesehen von der Cassini'schen, sehr veränderlich zu sein scheinen. Untersuchungen von Maxwell, die später von Hirn noch erweitert wurden, führten jedoch zu dem Resultate, daß die Ringe, um dauernd im Gleichgewichte zu bleiben, aus einer Menge unzusammenhängender Körperchen bestehen, mit anderen Worten wolkenartige Gebilde sein müssen, die um den Planeten nach Maßgabe ihrer Entfernung von demselben mit verschiedener Geschwindigkeit kreisen. Diese Körperchen können in schmalen Ringen angeordnet sein oder unregelmäßig aus einem dieser Ringe in den anderen übergehen. Die sehr schwierige und in einwurfsfreier Weise bisher noch nicht durchweg beantwortete Frage der Stabilität der Ringe, haben auch Tisserand, Madame Kowalewski, Miß Klumpke und besonders eingehend Seeliger erörtert, welcher letztere es als eine Hauptstütze der Maxwell-Hirn'schen Hypothese ansieht, daß sich mittelst derselben die von G. Müller photometrisch beobachteten bedeutenden Variationen in der Helligkeit der Saturnringe theoretisch erklären und quantitativ darstellen lassen. Für diese Hypothese spricht auch noch der Umstand, daß die Hauptteilung der Ringe, die Cassini'sche, sich an jener Stelle befindet, an welcher die Umlaufszeit eines Körpers sehr nahe die Hälfte der Umlaufszeit des dem Saturn nächsten Satelliten, Mimas, wäre, daß also dort dessen Bahn, infolge der Störungen dieses Mondes großen Änderungen unterworfen wäre (vgl. § 73).

§ 87. (Dimensionen Saturns und seines Ringsystemes.) Unter den zahlreichen Durchmessungen des Saturnsystemes haben wir die folgenden vier ausgewählt, welche zu den vollständigsten gehören und an den größten Instrumenten ausgeführt wurden und stellen der Vergleichung wegen die Resultate derselben neben einander. Die Messungen von G. P. Bond (Bo.) stammen aus den Jahren 1847 bis 1856 und sind am Refraktor von 38 cm des Harvard College in Cambridge Mass. ausgeführt. Bei demselben ist der äußere Durchmesser an (Fig. 70) des äußeren Ringes zu 40·26″ angenommen worden. Die Beobachtungen von O. v. Struve (St.) sind 1882 an dem Pulkowaer Refraktor von gleichen Dimensionen mit dem obigen ausgeführt: die von A. Hall (H.) 1884 bis 1887 am Washingtoner Refraktor von 66 cm und die von Barnard (Ba.) an dem großen der Lick-Sternwarte von 91·5 cm. Die Angaben beziehen sich auf die mittlere Distanz Saturns von der Sonne, die 9·539 Halbmesser der Erdbahn beträgt. Man erhält daher die in Sekunden ausgedrückte Größe in Kilometern durch Multiplikation mit 6875.

Trotz der im Allgemeinen sehr guten Übereinstimmung der Messungen kann

man sich wegen der sehr bedeutenden linearen Größe einer Bogensekunde in der Entfernung Saturns doch nicht verhehlen, daß die Dimensionen der einzelnen Teile seines Systems noch nicht sehr genau bekannt sind, und daß namentlich auch die Größe seiner Abplattung noch mit einer erheblichen Unsicherheit behaftet ist.

Fig. 70.



		Bo.	St.	H.	Ba.
an	Äußerer Durchmesser des äußeren Ringes . . .	40·26″	40·16″	40·45″	40·26″
cl	Innerer = = = = ...	35·55	·	34·95	34·90
dk	Äußerer = = inneren = ...	34·62	34·16	34·11	33·79
ej	Innerer = = = = ...	26·41	25·08	25·75	25·56
fi	Innerer = = dunklen = ...	21·74	20·74	20·52	20·44
gh	Äquatoreal-Durchmesser Saturns	17·23	17·76	17·72	17·77
pq	Polar- = = ...	15·38	·	·	16·34
ac	Breite des äußeren Rings	2·36	·	2·75	2·68
cd	= = Zwischenraumes	0·47	·	0·42	0·56
de	= = inneren Ringes	4·11	4·54	4·18	4·12
ef	= = dunklen = ...	2·34	2·17	2·62	2·56
fg	Abstand der inneren Seite des dunklen Ringes von der Oberfläche Saturns	2·26	1·49	1·40	1·34

Die Dicke des Ringes ist so gering, daß sie durch direkte Messungen nicht ermittelt werden kann. Schröter schätzte sie auf $^1/_8$″, John Herschel geringer als 0·06″ und Bond, auf theoretische Überlegungen gestützt, auf weniger als 0·01″, Zahlen, deren Differenz darthut, daß wir auf diese Art zu einer sicheren Kenntnis ihrer Dicke schwerlich gelangen dürften. Man hat daher versucht einen anderen Weg einzuschlagen, um zum Ziele zu kommen. Aus Störungen, welche die Ringe auf die Bewegung des Saturnsmondes Titan ausübten, hat Bessel die Masse derselben zu $^1/_{118}$ Saturns bestimmt, Tisserand hingegen dieselbe aus der Bewegung des Perisaturniums von Mimas mit Berücksichtigung der Abplattung dieses Planeten auf $^1/_{620}$ herabgesetzt. Halten wir uns an die letzte

Zahl, so kommt die Masse der Ringe etwa $^1/_8$ der Erdmasse (§ 81) gleich. Nimmt man nun an, daß die Substanz der Ringe dieselbe Dichte hat, wie Saturn, dessen Dichte $^1/_8$ jener der Erde beträgt, so besitzen die Ringe ein Volumen, das dem der Erde gleich ist, woraus die Dicke derselben sich zu 24·4 km oder $^1/_{280}$″ berechnet. Die Annahme der Bessel'schen Masse gäbe für diese Dicke 128 km oder $^1/_{53}$″.

§ 88. (Anblick des Ringes vom Saturn aus.) Die Freunde des gestirnten Himmels, wie er uns von der Erde schon so schön erscheint, werden ihn ohne Zweifel für die Bewohner Saturns noch viel schöner denken. Wenn der sanfte Schimmer des Mondes, der unsere Nächte so lieblich beleuchtet, den Beschauer schon zu erhabenen Betrachtungen bewegt, welche Genüsse wird er dort erwarten, wo der Sternenhimmel nicht minder reich an Schönheiten aller Art ist, wo noch überdies acht Monde das Dunkel der Nacht erhellen, und wo ein großer Ring, der sich gleich einem Strahlenbande um den ganzen Himmel schwingt, in immer abwechselnden Stellungen die Aufmerksamkeit des staunenden Beobachters auf sich ziehen muß!

One moon to us reflects its cheerful light,
There many attendants brighten up the night.
Here the blue firmament bedecked with stars,
There over head a lucid arch appears.

Barker.

Aber wir glauben, daß unsere Dichter, wenn sie auf diesen Planeten versetzt werden sollten, sich sehr bald wieder zu uns zurückwünschen würden. So sehr sie auch ihre kleine nächtliche Lampe lieben mögen, die viel kleinere Sonne, wie sie dort erscheint, und die matte Beleuchtung, die den hellsten Mittag Saturns nur unserer tiefsten Dämmerung gleich macht, würde ihnen wohl wenig behagen. Der äußerst schnelle Wechsel des Tages mit der Nacht, und die vier streng von einander gesonderten Jahreszeiten, deren jede 7·5 unserer Jahre, also 30mal länger als bei uns dauert, alle diese Verhältnisse würden wenigstens auf unsere vegetabilische und animalische Welt ohne Zweifel einen sehr ungünstigen Einfluß äußern, besonders wenn wir die von dem Äquator Saturns entfernten Gegenden bewohnen müßten, da ein beträchtlicher Teil einer jeden Hemisphäre dieses Planeten zur Zeit seines Winters durch mehrere, ja sogar bis 14 unserer Jahre in der Finsternis der Nacht begraben bleibt.

Da die Ebene des Ringes mit der des Äquators des Planeten zusammenfällt, so geht er für die Bewohner dieses Äquators, für die heiße Zone, wenn sie dort anders noch diesen Namen verdient, ganz verloren; denn er schwebt für diese immer in ihrem Scheitel, und sie sehen ihn nie der breiten Fläche, sondern bloß der innern Kante nach, die von der Sonne nie beleuchtet wird. Für sie zieht er sich also nur als eine schmale dunkle Zone über den ganzen Himmel, und weit entfernt, ihnen zu leuchten, verdeckt er vielmehr alle Fixsterne, vor denen er sich aufstellt, und selbst jene Monde Saturns, die sich, wie wir weiter

unten sehen werden, in der Ebene dieses Ringes bewegen, sind für die Tropenländer Saturns häufig auf längere oder kürzere Zeit von dem Ringe bedeckt.

Wenn so die Bewohner des Äquators keine Ursache haben, sich dieses Ringes zu erfreuen, so sind die den Polen näheren Bewohner Saturns noch viel weniger in einem Zustande, der sie für uns beneidenswert machen könnte. Die Einwohner der kalten Zonen, die von den beiden Polen bis zu 24° abwärts wohnen, und die diesen Ring ihrer 14jährigen Nächte wegen noch am besten brauchen könnten, sehen ihn gar nicht, weil er dem Planeten so nahe steht, daß er immer unter dem Horizonte jener Polarländer sich aufhält. Bei weiterem Entfernen von den Polen wird er zunächst teilweise sichtbar, so daß erst diejenigen, die wenigstens 35° von jedem der beiden Pole entfernt sind, den Ring in seiner ganzen Breite von nahe 12° erblicken; aber auch sie werden wenig Nutzen davon ziehen können, da sie ihn nur ganz nahe an ihrem Horizonte sehen. Die noch näher an dem Äquator Wohnenden sehen ihn wohl höher, da er sich für sie immer mehr über den Horizont erhebt, aber sie sehen ihn auch zugleich immer schmäler, bis endlich die Bewohner des Äquators selbst, wie bereits gesagt, nur noch dessen innere, bloß von Saturn selbst beleuchtete Kante sehen können.

Also nur diejenigen Bewohner Saturns, welche von dem Äquator zu beiden Seiten desselben bis 55° entfernt sind, genießen den Anblick des ganzen Ringes; für sie steht er wie eine lichte Zone am Himmel, und zwar für die dem Äquator näheren Länder hoch und schmal, für die entfernteren immer breiter, aber auch zugleich tiefer an dem Horizonte. Diese letzten allein könnte man also noch für die Begünstigten halten; aber auch diese Gunst ist nicht so groß, wie sie vielleicht auf den ersten Blick erscheinen mag. Von den zwei breiten Flächen des Ringes ist immer nur eine beleuchtet, und diese beleuchtete Seite kann nur von derjenigen Hemisphäre des Planeten gesehen werden, welche eben gegen sie gewendet ist. Diese Hemisphäre ist zugleich die gegen die Sonne gewendete, die ihren Sommer feiernde Hälfte Saturns; diese könnte aber jener Beleuchtung des Ringes noch am besten entraten, während die andere, winterliche Hälfte, die solche Beleuchtung ihrer langen Nächte wegen am meisten brauchte, sie gänzlich entbehren muß. Dazu kommt noch, daß diese vordere, der Sonne zugewendete Hälfte Saturns den beleuchteten Ring nur während ihres Tages sieht, wo ihr ohnehin die Sonne scheint, während bei Nacht, wo eigentlich die beleuchtete Seite des Ringes den Mangel des Sonnenlichtes ersetzen sollte, Saturn seinen eigenen Schatten auf den Ring wirft und ihn in einer Art von Mondfinsternis wieder unsichtbar macht, während die ganze andere Hälfte Saturns, die eben Winter und ihre lange Nacht hat, gegen die unbeleuchtete Seite des Ringes gewendet ist und diesen daher gar nicht sieht, vielmehr es sich noch gefallen lassen muß, daß ihr durch ihn die Sterne und selbst die Sonne zeitweilig verdeckt werden.

Wenn nun die Bewohner Saturns sich an diesem Ringe, nach unseren Ansichten, nicht sehr ergötzen können, so werden vielleicht die Einwohner des Ringes

selbst, wenn es deren gibt, einen desto angenehmeren Aufenthalt haben? — Unsere Leser werden dies leicht selbst beurteilen können, wenn sie sich aus dem Vorhergehenden erinnern, daß jede der beiden breiten Seiten dieses Ringes abwechselnd durch 15 unserer Jahre immerwährend Tag und eben so lange Nacht hat, und daß der 15jährige Tag durch zahllose Sonnenfinsternisse unterbrochen wird, welche die mächtige Kugel Saturns hervorbringt.

So unwirtlich aber dieser Planet sowohl als auch sein Ring für Geschöpfe unserer Art scheint, so unangemessen mag es doch sein, von dem, was uns schicklich oder unschicklich ist, sofort denselben Schluß auch auf andere Himmelskörper und auf andere Geschöpfe anzuwenden, deren Einrichtung und Organisation durchaus von der unseren verschieden sein kann, so daß, was uns nur Abscheu und Entsetzen und vielleicht sogar einen schnellen Untergang verursachen würde, für jene ein erhabenes, ja wohlthätiges Schauspiel sein mag.

Kapitel IX.

Uranus.

§ 89. (Entfernung und Umlaufszeit des Uranus.) In einer Entfernung von der Sonne, die beinahe doppelt so groß ist als die des Saturn, wandelt Uranus seine große Bahn, von vier Satelliten begleitet, und vollendet dieselbe siderisch in 30686·82, tropisch in 30587·21, synodisch in 369·42 Tagen (I, §§ 84 bis 86).

Seine mittlere Entfernung von der Sonne beträgt 2850 Millionen km. Ein schnell segelndes Schiff, das in jeder Stunde 30 km zurücklegt, würde diese Distanz erst in 10 840 Jahren und der Schall, der in jeder Stunde 1190 km durchläuft, in 273 Jahren erreichen, während das Licht mit seiner ungeheueren Geschwindigkeit nur $2^h\ 39^m$ braucht, um von der Sonne zu Uranus zu gelangen.

Da seine Bahn nahe kreisförmig ist, kann er sich der Sonne im Perihelium nur auf 2720 Millionen km nähern und im Aphelium nur auf 2980 Millonen km von ihr entfernen. Von der Erde steht er zur Zeit der Opposition 2570 und in der Konjunktion 3135 Millionen km ab und erscheint dort unter dem scheinbaren Durchmesser von 4·7″ und hier unter dem Winkel von 3·9″ nahe als ein Stern der 5. bis 6. Größe, daher man ihn auch mit unbewaffnetem Auge noch erkennen kann. Das Licht, welches Uranus uns in mittleren Oppositions-Entfernungen zusendet, beträgt nach Zöllner den 8·5billionsten Teil des Sonnenlichtes. Sein wahrer Durchmesser mißt 59 200 km.

§ 90. (Entdeckung, Name, Zeichen ꝛc.) Dieser Planet wurde am 13. März 1881 von Herschel zu Bath bei London mit einem von ihm selbst verfertigten siebenfüßigen Teleskope entdeckt und an seiner bemerkbaren Scheibe (die Fixsterne erscheinen nur als unteilbare Punkte) und seiner Bewegung unter den Sternen

sofort als Planet erkannt. Da er sich so langsam bewegt, daß er seinen Umlauf um die Sonne erst in nahe 84 Jahren vollendet, so würde es lange gedauert haben, bis er einen so beträchtlichen Teil seiner Bahn zurückgelegt hätte, um daraus die Elemente derselben mit Sicherheit abzuleiten. Allein Bode hatte bald darauf in dem Sternverzeichnisse Flamsteed's und Lichtenberg in dem von T. Mayer gefunden, daß diese beiden Astronomen den Planeten bereits früher, jener im Jahr 1690 und dieser 1756, als vermeintlichen Fixstern beobachtet hatten, ohne nämlich seine Bewegung zu bemerken. Bald darauf wurden noch mehrere ältere Beobachtungen des Planeten aufgefunden, und dadurch wurde man in die Lage gesetzt, die Elemente desselben schon mit großer Genauigkeit zu einer Zeit zu bestimmen, wo er seit seiner Entdeckung erst einen kleinen Teil seiner Bahn durchlaufen hatte. Herschel wollte das neue Gestirn anfangs zu Ehren seines Königs Georgium Sidus nennen; bald aber gewann Bode's Vorschlag, ihm den Namen Uranus beizulegen, schon aus verwandtschaftlichen Rücksichten auf Jupiter und Saturn die Oberhand. Als Zeichen wurde ♅ gewählt.

Aus dem bereits erwähnten Durchmesser dieses Planeten von 59 200 km folgt, daß seine Oberfläche die der Erde nahe 21 mal und sein Volumen das der Erde 92 mal übertrifft. Die Masse des Uranus ist 15 mal größer als die Erdmasse, daher die Dichtigkeit derselben nur der sechste Teil der Dichte der Erdmasse, also nahe so groß wie die Dichte unseres Wassers. Der Weg, welchen die Körper auf seiner Oberfläche in der ersten Sekunde ihres Falles zurücklegen, beträgt 3·2 m, also etwa 1·7 m weniger als auf der Erde, wobei wir jedoch nicht wie bei den früher besprochenen Planeten auf die Verminderung der Schwere durch die Rotation, die wir eben hier nicht kennen, Rücksicht nehmen können. Er selbst aber legt auf seinem Wege um die Sonne in jeder Sekunde 6·8 km zurück, so daß die Geschwindigkeit dieses Planeten viermal kleiner ist als die der Erde. Die Sonne erscheint auf ihm nur noch unter einem Durchmesser von rund 1·7′ nicht ganz noch einmal so groß als uns die Venus, oder im Durchmesser 19 mal und in der Oberfläche 360 mal kleiner als die Sonne uns erscheint, daher auch im allgemeinen die Beleuchtung, welche Uranus von ihr erhält, 360 mal kleiner als die Beleuchtung der Erde sein wird.

§ 91. (Rotation, Abplattung und Spektrum des Uranus.) Da dieser Planet so ungemein weit von uns entfernt ist, so wissen wir von seiner Oberfläche wenig mehr, als daß sie uns wie eine kleine runde, matt beleuchtete Scheibe erscheint, auf welcher es zuerst Buffham 1870 und 1872 gelang, an je einem Abende zwei blaße helle Flecke zu beobachten, aus denen er auf eine etwa 12stündige Rotationsdauer des Planeten glaubte schließen zu dürfen. Im Jahre 1883 sahen auch Schiaparelli und Young wiederholt, einem matten Hauche ähnlich, Flecken und Streifen auf der Oberfläche des Uranus. Etwas bestimmter bemerkte Perrotin 1884 und 1886 mehrmals den Streifen Jupiters und Saturns ähnliche Gebilde auf der Scheibe, welche ihm nahe parallel der Bahnebene der

Satelliten zu verlaufen schienen. Doch auch seine Wahrnehmungen waren noch zu unbestimmt, um einen Schluß auf die Rotationsdauer des Uranus zu gestatten.

Ebenso unsicher wie in Bezug auf seine Rotation sind wir auch in Bezug auf seine Abplattung. Daß Uranus eine solche und zwar eine ziemlich bedeutende besitze, vermutete wohl schon W. Herschel, und die Messungen Mädler's in 1842 und 1843 schienen eine solche von etwa $^1/_{10}$ mit großer Sicherheit zu ergeben. Eine ähnliche folgerten auch Young und Schiaparelli aus ihren Messungen, während andere ausgezeichnete Beobachter, wie O. v. Struve, Engelmann, Kaiser, Millosevich, Seeliger u. a. die Scheibe als vollkommen kreisrund bezeichnen. Wir sind daher wenigstens über die Größe der Abplattung des Uranus noch vollständig im Unklaren. Unter der Annahme einer solchen von $^1/_{10}$, wie sie Mädler angiebt, findet Houzeau aus theoretischen Gründen, daß die Rotationszeit des Planeten zwischen 7·3 und 12·5 Stunden betragen müsse.

Das Spektrum von Uranus wurde zuerst von Secchi und H. C. Vogel, hierauf von Huggins und in jüngster Zeit von Keeler studiert. Es besitzt außer einer größeren Zahl Fraunhofer'scher Linien ein starkes Absorptionsband in Rot, an derselben Stelle, wo auch im Spektrum von Jupiter und Saturn sich eines vorfindet, außerdem aber auch noch ihm eigentümliche Absorptionsbänder in Gelb, Grün und Blaugrün. Daraus geht unzweifelhaft hervor, daß Uranus von einer dichten Atmosphäre umgeben ist.

§ 92. (Tages- und Jahreszeiten des Uranus.) Wir werden weiter unten (Kap. XIII) erfahren, daß die Bahnen der Monde des Uranus auf dessen Bahn, die sehr nahe mit unserer Ekliptik zusammenfällt, beinahe senkrecht stehen. Da wir nun bisher bei allen Planeten die Satelliten derselben sich in der Ebene des Äquators ihres Planeten bewegen sehen, werden wir mit großer Wahrscheinlichkeit annehmen können, daß der Äquator des Uranus nahe senkrecht auf seiner Bahn steht oder daß die Schiefe der Ekliptik bei diesem Planeten nahe 90° beträgt. Wir haben aber schon früher (I, § 37) gezeigt, welche Folgen eine solche Einrichtung auf die Klimate und Jahreszeiten eines Planeten nach sich ziehen muß. Der Unterschied der Klimate wird nämlich auf Uranus beinahe ganz aufgehoben sein, das heißt, es wird in Beziehung auf den Stand der Sonne in verschiedenen Teilen des Jahres einerlei sein, ob das Land nahe bei dem Äquator oder nahe bei den Polen liegt, da jeder Punkt der Oberfläche dieses Planeten, selbst die beiden Pole nicht ausgenommen, im Laufe des Jahres die Sonne zweimal in seinem Zenithe sieht. Im Anfange des Frühlings und des Herbstes steht die Sonne in dem Scheitel derjenigen, die den Äquator bewohnen, während sie den beiden Polen nur in ihrem Horizonte erscheint, und während überall, auf der ganzen Oberfläche des Uranus, Tag und Nacht einander gleich sind. Allein nur kurze Zeit nach dieser Epoche werden selbst diejenigen, die in der Nähe des

Äquators wohnen, schon einen bedeutenden Unterschied in der Länge ihrer Tage und Nächte bemerken, und im Anfange des Sommers oder des Winters wird der nördliche oder der südliche Pol die Sonne in seinem Zenithe sehen, und die diesen Polen zunächst liegenden Länder werden 42 unserer Jahre immerwährend Tag und eben so lange wieder Nacht haben. Durch diese Einrichtung wird also auch der Unterschied der Jahreszeiten der größtmögliche sein, oder mit anderen Worten: so wenig es in Beziehung auf Temperatur, Beleuchtung, Vegetation u. s. darauf ankommen wird, ob man nahe bei dem Äquator oder nahe bei einem Pole wohnt, so viel wird darauf ankommen, ob der Süd- oder Nordländer auf jenem Planeten eben Frühling oder Sommer u. s. w. hat, da dort die Jahreszeiten wegen der großen Schiefe der Ekliptik viel mehr von einander verschieden und viel schroffer von einander abgesondert sein müssen als bei uns, falls die Sonne dort überhaupt noch einen merkbaren Einfluß darauf ausüben kann.

Welcher Art die Bewohner eines Planeten sein mögen, die ihre Sonne 360mal kleiner sehen als wir, die selbst im Mittage noch, mit unsern Augen gedacht, im Finstern tappen, sich die grellsten Abwechslungen der Jahreszeiten und vor allem eine Kälte gefallen lassen müssen, die auf unserer Erde allem Leben ein plötzliches Ende bereiten würde, — dies mögen unsere Leser selbst untersuchen.

Kapitel X.

Neptun.

§ 93. (Anomalieen in der Bewegung des Uranus, Vermutungen über die Existenz eines Planeten jenseits desselben.) Mehr als 60 Jahre waren verflossen, seit W. Herschel durch die Entdeckung des Uranus die Grenzen des Sonnengebietes, das durch Jahrtausende mit Saturn abgeschlossen war, in die doppelte Entfernung gerückt hatte, als dieselben abermals um 10 Erdbahnhalbmesser durch eine Planetenentdeckung hinausgeschoben wurden, die so einzig in der Geschichte der Astronomie dasteht, daß sie durchaus mit keiner anderen verglichen werden kann. Während die übrigen neuen Planeten entweder zufällig, oder im Verlaufe einer zwar genauen und wohlangelegten aber immer auf gut Glück unternommenen Durchsuchung des Himmels gefunden wurden, ward die Existenz Neptuns aus seinen Wirkungen auf Uranus erschlossen und sein Ort am Himmel angegeben, bevor wir ihn noch gesehen hatten.

Wir haben schon früher § 66 gezeigt, wie die Astronomen zu verfahren pflegen, um über die Bahn eines neuen Planeten nähere Auskunft zu erhalten. Sie bestimmen nämlich aus den vorhandenen Beobachtungen desselben die Elemente der Bahn, bei deren Berechnung sie aber zunächst bloß auf die Anziehung der Sonne Rücksicht nehmen oder, was dasselbe ist, die Sache so betrachten, als ob

bloß die Sonne und der neue Planet vorhanden und letzterer der Einwirkung keines anderen Körpers ausgesetzt wäre. Bei solcher Annahme ist die Bahn des Planeten eine Ellipse, deren Gestalt und Lage im Raume durch ihre große Achse, ihre Excentricität, die Länge des aufsteigenden Knotens, die Neigung gegen die Ekliptik, die Länge des Perihels und die Zeit des Durchganges des Planeten durch irgend einen Punkt seiner Bahn oder die Epoche angegeben wird. Die ersten zwei Elemente bestimmen die Gestalt der Ellipse, das dritte und vierte die Lage der Bahnebene im Raume, das fünfte giebt die Lage der Ellipse in ihrer eigenen Ebene und das sechste die Position des Planeten in seiner Ellipse.

Hat man diese Elemente ausgemittelt, so ist man imstande, die relative Lage des Planeten gegen alle übrigen für jede Zeit anzugeben, und somit auch die Einwirkungen dieser Körper auf jenen oder die sogenannten Störungen des Planeten zu berechnen. Nun erst wird es möglich, die Beobachtungen, aus denen man die ersten genäherten Elemente abgeleitet hat, von dem Einflusse dieser Störungen zu befreien und sie so umzustellen, als ob der Planet bloß der Anziehung der Sonne ausgesetzt wäre. Aus den so verbesserten Beobachtungen erhält man nun die genauen Elemente seiner elliptischen Bahn um die Sonne. Die Astronomen pflegen ferner, so oft es die Beschaffenheit dieser Bahn zuläßt, Tafeln zu konstruieren, welche ihnen die Vorausberechnung des von der Sonne aus gesehenen oder heliocentrischen Ortes des Planeten für jeden beliebigen Zeitpunkt sehr erleichtern, und in diese Tafeln zugleich die Störungen durch die übrigen Planeten aufzunehmen. Mit Hilfe des aus einer solchen Tafel genommenen heliocentrischen Ortes (I, § 83) finden sie dann durch eine leichte und sehr einfache Rechnung die von der Erde aus gesehene oder geocentrische Position des Planeten (I, § 79). Berechnet man nun dessen Lauf auf eine Reihe von Jahren voraus und findet man dann, daß derselbe mit den Beobachtungen übereinstimmt, so sind die den Tafeln zu Grunde liegenden Elemente bereits die richtigen. Stellt sich dagegen mit der Zeit eine Abweichung der berechneten von den beobachteten Orten des Planeten heraus, so erfordern die Elemente noch eine Verbesserung, und man wird sie fort und fort korrigieren, bis die gewünschte Übereinstimmung mit dem Himmel hergestellt ist.

Dieser Weg wurde denn auch bei der Bestimmung der Bahn des Uranus durch Delambre eingeschlagen, der im Jahre 1789 die ersten, auf eine sorgfältige Bestimmung der Elemente der Uranusbahn gegründeten Uranustafeln gab. Diese Tafeln stimmten mit dem Himmel bis in das zweite Dezennium unseres Jahrhunderts; aber allmählich zeigte sich eine mit der Zeit wachsende Diskordanz gegen die beobachteten Positionen des Uranus, welche im Jahre 1821 in Länge auf mehr als 1′ anwuchs, was Alexis Bouvard zu einer neuen Diskussion sämmtlicher Beobachtungen dieses Planeten veranlaßte, die bis dahin vorhanden waren. Es lag in dieser Beziehung schon ein reichhaltiges Material vor, nämlich 40jährige Beobachtungen von 1781 bis 1821 und 19 ältere Beobachtungen in den

Jahren 1690 bis 1771 von Flamsteed, Bradley, Mayer und Lemonnier, die den Planeten für einen Fixstern 6. Größe genommen hatten. Diese Beobachtungen umfaßten also einen Zeitraum von 130 Jahren oder mehr als anderthalb Revolutionen des Planeten, und man konnte mit Recht erwarten, daß aus einer sorgfältigen und gründlichen Benützung derselben eine sehr gute, auf lange Jahre hinaus mit den Beobachtungen harmonierende Bahn des Uranus hervorgehen werde. Sonderbarer Weise aber stellte es sich als unmöglich heraus, den eben erwähnten älteren Beobachtungen von 1690 bis 1771 zugleich mit den neueren durch dasselbe System von Elementen Genüge zu leisten. Wurden diese Elemente aus alten Beobachtungen abgeleitet, so waren die Abweichungen der aus ihnen berechneten Orte von den neueren Beobachtungen zu groß, um noch als Beobachtungsfehler gelten zu können. Bouvard schloß also jene 19 älteren Beobachtungen gänzlich aus und leitete nur aus den neueren eine Bahn ab.

Das ungerechtfertigte Auslassen der älteren Beobachtungen rächte sich sofort, indem Bouvard's im Jahre 1821 erschienene Tafeln schon im Jahre 1830 einen Fehler in Länge von 15″ bis 20″, in Breite von 10″ bis 15″ zeigten, der bis zum Jahre 1842 auf 2′ in Länge und 30″ bis 40″ in Breite stieg. Diese auffallenden Unregelmäßigkeiten, die Hartnäckigkeit, womit dieser Planet jedem Versuche, seine Bewegung mit den Gesetzen der allgemeinen Gravitation in Einklang zu bringen, widerstand, gab zu den verschiedenartigsten Vermutungen Anlaß, und es fehlte nicht an Astronomen, welche der Meinung waren, daß diese Anomalien durch die Einwirkung eines oder mehrerer noch unbekannter Körper des Sonnensystemes hervorgebracht würden. So enthält z. B. ein Brief von T. J. Hussey an G. B. Airy vom 17. November 1834 in Bezug darauf folgenden Passus: „Nachdem ich mir in den letzten Jahren mit Beobachtung des Uranus viele Mühe gegeben, machte ich mich an eine genaue Prüfung der Bouvard'schen Tafeln dieses Planeten. Die scheinbar unerklärlichen Abweichungen der neueren von den älteren Beobachtungen führten mich auf die Möglichkeit eines störenden Körpers außerhalb Uranus, den man, da er unbekannt, bisher nicht in Rechnung genommen. Mein erster Gedanke war, einen genäherten Ort dieses supponierten Körpers empirisch abzuleiten und dann mit meinem großen Reflektor alle kleineren Sterne in der Gegend durchzumustern; allein ich fand mich für den ersten Teil der Aufgabe ganz unfähig. Wenn ich es auch vielleicht früher hätte leisten können, so geht es doch jetzt über meine Kräfte, auch wenn ich, was nicht der Fall ist, die nötige Zeit dazu hätte. Ich ließ also den Gegenstand fallen. In einer Unterredung mit A. Bouvard bei meinem letzten Aufenthalte in Paris fragte ich ihn, was er von jener Ansicht halte; er antwortete, daß, wie man wohl erwarten konnte, auch er schon auf diese Idee verfallen sei und darüber mit Hansen eine Weile korrespondiert habe. Auf meinen Vorschlag, den Ort des störenden Körpers empirisch zu bestimmen und dann den Himmel zu durchforschen, ging er völlig ein und glaubte, daß jene vorläufige Rechnung mehr

weitläufig als schwierig sein würde; wenn er Muße dazu fände, wollte er sie durchführen und mir die Resultate als Grundlage einer genauen Durchsuchung mitteilen. Seither hörte ich nichts von ihm hierüber und war zu kränklich, um zu schreiben. Was denken Sie davon? Vorausgesetzt, daß Sie die Idee überhaupt billigen, könnten Sie mir dann wohl die Grenzen roh angeben, zwischen denen dieser oder diese Körper im nächsten Winter wahrscheinlich zu finden wären? Da die Neigung der Bahn vermutlich der der älteren Planeten ähnlich ist, so würde die Breite der zu durchsuchenden Zone nur sehr gering sein. Wenn ich nicht irre, so ist mein Fernrohr so vollkommen, daß ich damit unmittelbar und schon am Lichte einen Planeten von einem Fixsterne unterscheiden kann. Ich würde dabei übrigens doch in folgender Weise vorgehen. Zuerst sollte der ganze Raum zwischen den nötigen Grenzen auf die Karte gebracht werden, und zwar bis zu den kleinsten Sternen, die ich noch wahrnehmen könnte. Die Zwischenzeit einer Woche würde mich dann über jede Veränderung ins Reine bringen. Wenn die ganze Sache Ihnen nicht eine Chimäre scheint, wie ich bis zu jenem Gespräche mit Bouvard fast fürchtete, so würden Sie mich durch einen Wink darüber sehr erfreuen."

In der Antwort auf diesen Brief sagt Airy, daß er auch schon oft über die Unregelmäßigkeiten des Uranus nachgedacht, aber den Gegenstand für lange noch nicht reif genug halte, um auch nur die mindeste Hoffnung auf Erforschung einer äußeren Wirkung zu geben. Er legt besonders Gewicht darauf, daß die aus den Beobachtungen zwischen 1781 und 1825 abgeleiteten Elemente in den Jahren 1750 und 1834, wo der Planet sich nahe auf denselben Punkten seiner Bahn befand, nahe dieselben Abweichungen geben. Dies läßt, glaubt er, nicht auf unregelmäßige Störungen schließen, und könnte seine Erklärung in einer Unvollkommenheit der Theorie finden. Aber selbst wenn eine äußere Wirkung nachgewiesen wäre, so zweifelt er noch sehr an der Möglichkeit, den Ort des störenden Körpers zu bestimmen; es gehörten dazu wenigstens einige successive Revolutionen von Uranus, um die Natur der Unregelmäßigkeiten der Uranusbewegung genauer zu ergründen. Bei dieser Ansicht beharrte Airy auch noch im Jahre 1837 in allen Beziehungen in einem Briefe an Eugen Bouvard, dem Neffen des oben genannten A. Bouvard.

In ganz ähnlicher Weise spricht sich hierüber Nicolai, der anfangs so wie Olbers zu den Gegnern der Idee eines transuranischen Planeten gehörte, in einem Briefe an Schumacher vom 11. November 1835 aus, schätzt die Entfernung des störenden Körpers nach der bekannten Analogie von Bode (§ 65) auf 38 Einheiten der Erdbahnhalbachse, und fügt zum Schlusse bei, daß die rechnerische Auffindung desselben der höchste Triumph der Wissenschaft wäre. Auch Bessel beschäftigte sich, aber, wie man aus dem seither bekannt gemachten Briefwechsel zwischen ihm und Olbers ersieht, bereits im Jahre 1823 mit den rätselhaften Unrelmäßigkeiten in der Bewegung des Uranus, suchte jedoch eine

geraume Weile hindurch die Erklärung in einer Modifikation des Newton'schen Gravitationsgesetzes, wonach die Himmelskörper sich nicht nur nach Masse und Entfernung, sondern überdies nach gewissen Affinitäten bald mehr bald minder anzögen. Die Widersprüche, auf die er bei dieser Hypothese kam, so wie andere Beschäftigungen scheinen ihn von dieser Untersuchung abgezogen zu haben, bis er sie 1839 wieder aufnahm, jedoch bereits in der Überzeugung, daß die Unregelmäßigkeiten von einem transuranischen Planeten herrühren, wie ein Gespräch, welches er 1842 mit Sir J. Herschel in Colingwood hatte, das der letztere nach Bessels Tode (17. März 1846) veröffentlichte, und der Umstand beweist, daß er durch seinen Schüler Fleming bereits eine diesbezügliche Vorarbeit ausführen ließ. Einer brieflichen Mitteilung von Argelander an K. v. Littrow entnehmen wir weiter, daß Bessel um diese Zeit auch mit Argelander über diese Angelegenheit verkehrte, ihn um eine neue Reduktion der alten Uranusbeobachtungen ersuchte und die Überzeugung aussprach, man werde die Elemente des transuranischen Planeten bis auf die Excentricität und Neigung finden können, diese aber würden wahrscheinlich so klein sein, daß sie wenig Einfluß hätten. Wie richtig diese Mutmaßungen waren, wenn man die Konzeptionen eines Bessel „Mutmaßungen" nennen darf, werden wir weiter unten sehen. Später schrieb Bessel mehrmals an Argelander, er brauche sich mit der Reduktion nicht zu übereilen, weil noch mehrere Vorarbeiten zu vollenden seien; welcher Art aber diese Vorarbeiten waren, äußerte er in seinen Briefen nicht.

§ 94. (Genauere Untersuchung der Uranusbewegung. Le Verrier.) Im Jahre 1842 stellte die Akademie der Wissenschaften in Göttingen die Preisfrage: „Eine den Anforderungen, welche der gegenwärtige Stand der Wissenschaft an derartige Untersuchungen macht, genügende neue Bearbeitung der Theorie der Uranusbewegung mit Darlegung der Hauptmomente in einer angemessenen Ausführlichkeit zu liefern." Aber es erfolgte keine Beantwortung. Inzwischen erschienen E. Bouvard's neue Uranustafeln, die zwar die Beobachtungen von 1781 bis 1840 bei weitem besser darstellten als die Tafeln seines Onkels, aber immer noch Abweichungen von 15" mit dem Himmel zeigten, die sich auf keine Weise verkleinern ließen. Allein solche Fehler sind bei den neueren Beobachtungen ganz unzulässig, insbesondere wenn man bedenkt, daß nicht einzelne Beobachtungen, sondern Mittel aus zahlreichen, sehr gut unter sich übereinstimmenden Beobachtungen jene Abweichungen zu erkennen gaben.

Die Thatsache stand nun fest, daß es nicht möglich sei, durch ein System elliptischer Elemente des Uranus die ganze vorhandene Reihe von Beobachtungen dieses Planeten befriedigend darzustellen. Ob aber die von mehreren Astronomen vermutete Existenz eines noch unbekannten Planeten die Ursache davon sei, oder ob vielleicht das Gravitationsgesetz nicht ausreichend sei, die Bewegung des Uranus zu erklären, blieb noch unentschieden. Die hohe Wichtigkeit einer näheren Untersuchung dieses Gegenstandes veranlaßte Arago im Jahre 1845, den jungen

Mathematiker Le Verrier aufzufordern, sich mit der endlichen Lösung dieser Schwierigkeit zu beschäftigen. Le Verrier hatte sich bereits durch schöne und umfassende Arbeiten einen bedeutenden Ruf als Geometer und Rechner erworben; er unterzog sich dieser schwierigen Untersuchung und legte die Ergebnisse seiner mit einem bewunderungswürdigen Scharfblicke durchgeführten Rechnungen der Pariser Akademie in den Sitzungen vom 10. November 1845, 1. Juni, 31. August und 5. Oktober 1846 vor. Die vollständige und das ganze Gerüste der Rechnung darstellende Abhandlung erschien später in der Connaissance des temps für 1849 unter dem Titel: Recherches sur le mouvement de la planète Herschel par U. J. Le Verrier.

Die erste Abteilung dieses hochinteressanten Werkes enthält die Entwicklung der Störungen des Uranus durch Jupiter und Saturn, die Le Verrier so weit fortgesetzt hat, daß nicht leicht ein Glied von einiger Bedeutung dabei außer Acht gelassen sein kann, und zwar sowohl nach der bisher immer in Anwendung gebrachten Laplace'schen Methode als auch nach einer ihm eigentümlichen, um durch die Übereinstimmung der auf zwei verschiedenen Wegen gefundenen Resultate von der Richtigkeit der ganzen Rechnung überzeugt zu sein.

In der zweiten Abteilung giebt Le Verrier die Vergleichung seiner neu entwickelten Theorie des Uranus mit den Beobachtungen. Alle Beobachtungen von 1690 bis 1845 wurden neu und genau reduziert, für die entsprechenden Beobachtungsmomente nach den Bouvard'schen Elementen die heliocentrischen Orte des Uranus angenommen, daran die Störungen, so wie sie in der ersten Abteilung gefunden worden waren, angebracht, daraus die geocentrischen Orte berechnet und diese mit den beobachteten Orten verglichen. Ist nun Uranus keiner anderen Einwirkung ausgesetzt als der Anziehung der Sonne und der innerhalb seiner Bahn eingeschlossenen Planeten (von welchen allein die Anziehung Jupiters und Saturns noch merklich ist), so können die Unterschiede, die sich bei Vergleichung der eben berechneten geocentrischen Orte mit den beobachteten herausstellen, nur von der Unrichtigkeit der zu Grunde gelegten Elemente der Uranusbahn herrühren, und diese Abweichungen werden gerade ein gutes Mittel an die Hand geben, die genannten Elemente gehörig zu verbessern. Le Verrier versuchte also vor allem, neue elliptische Elemente abzuleiten, wobei er zunächst nur die neueren Beobachtungen seit 1781 heranzog: er fand aber dieselben Schwierigkeiten wie seine Vorgänger, die beiden Bouvard. Selbst nach der sorgfältigsten und umfassendsten Korrektion der Elemente blieben Unterschiede zwischen Rechnung und Beobachtung übrig, die bis auf 20″ stiegen und in ihrem Gange ein zu bestimmtes Gesetz befolgten, um sie als bloß zufällige Fehler der Beobachtungen gelten zu lassen.

Noch weit ungünstiger gestaltete sich aber die Sachlage, als Le Verrier jetzt auch die 19 älteren Beobachtungen mit in Rechnung zog. Es blieben nun sogar unausgleichbare Fehler, die bis auf mehr als 4′ anstiegen, und ebenfalls wieder

einen regelmäßigen Gang zeigten. Diese ganz abnormen Abweichungen bewiesen unbestreitbar, daß Uranus neben der Anziehung der Sonne und der innerhalb seiner Bahn befindlichen bekannten Planeten noch der Einwirkung einer besonderen Kraft ausgesetzt ist, die seine Bewegung nicht unbeträchtlich modifiziert.

In der dritten Abteilung stellt Le Verrier in Kürze dar, daß die Anomalien, von denen hier die Rede ist, weder durch einen Widerstand des Äthers, noch durch einen großen Uranussatelliten, noch durch eine Einwirkung der Kometen, noch endlich durch eine etwa in großer Entfernung von der Sonne eintretende Modifikation des Gravitationsgesetzes, sondern nur durch einen noch unbekannten Planeten genügend erklärt werden können, der störend auf die Bewegung des Uranus einwirke. Er entschloß sich also, den Versuch zu wagen, aus den beobachteten Anomalien der Uranusbewegung den Ort des unbekannten Planeten so genau, als es eben möglich ist, zu bestimmen. Zwischen Sonne und Saturn kann er sich unmöglich befinden, weil er sonst in der Bewegung des Saturn viel stärkere Störungen hervorbringen müßte als in der des Uranus, was nicht der Fall ist. Zwischen Saturn und Uranus darf er gleichfalls nicht angenommen werden, man müßte ihn denn viel näher an die Bahn des Uranus versetzen als an die des Saturn, und überdies müßte seine Masse sehr klein sein, wenn er ungeachtet seiner Nähe an Uranus, den Beobachtungen gemäß, verhältnißmäßig doch nur kleine Störungen in der Bewegung dieses Planeten erzeugen soll. Aber man sieht leicht, daß dann seine störende Kraft nur so lange merklich wäre, als er sich in der Nähe des Uranus befindet; sobald er aber bei ihm vorbeigegangen und sich von ihm um ein Beträchtliches entfernt hätte, müßte seine Wirkung auf ihn gänzlich aufhören, da eine sehr kleine Masse in einer großen Entfernung von einem Körper auf diesen keinen fühlbaren Einfluß ausüben kann. Überdies hätte der störende Planet, wenn seine Bahn nahe an der des Uranus angenommen würde, nach dem dritten Kepler'schen Gesetze eine von Uranus nicht viel verschiedene Umlaufszeit, zufolge deren eine Annäherung beider Körper während der ganzen Periode, welche sämtliche Beobachtungen des Uranus umfaßt, nur Einmal hätte stattfinden können, was den Beobachtungen ganz entgegen ist, die keineswegs eine Störung von kurzer Dauer, sondern im Gegenteile eine von sehr langer Periode zu erkennen geben.

Der störende Planet liegt also jenseits der Uranusbahn. Aber auch hier darf seine Bahn nicht in der Nähe dieser vorausgesetzt werden, denn dann würden wir wieder auf dieselben Schwierigkeiten stoßen wie im vorhergehenden Falle. Also nur weit außerhalb Uranus können wir hoffen, den unbekannten Körper aufzufinden, dessen Masse zugleich sehr beträchtlich sein wird. Berücksichtigen wir nun die sogenannte Bode'sche Analogie (§ 65), die sich an den mittleren Entfernungen der Planeten von der Sonne offenbart, und vermöge der die Distanzen der von der Sonne entferntesten Planeten immer ungefähr um das Doppelte wachsen, so wäre es sehr natürlich, zu vermuten, daß der neue Körper

beiläufig zweimal so weit von der Sonne abstehe als Uranus. Was so bloß als Vermutung erscheint, wird durch die folgende Betrachtung fast zur Gewißheit. Es wurde nämlich oben erwähnt, daß man den neuen Körper außerhalb Uranus, aber nicht zu nahe an diesem Planeten annehmen dürfe. Aber es geht ebenso wenig an, ihn in eine sehr große Entfernung zu versetzen, wie etwa in die dreifache Entfernung des Uranus von der Sonne. Denn man müßte unter dieser Voraussetzung seine Masse außerordentlich groß annehmen, um auf Uranus noch so bedeutende Wirkungen hervorzubringen; das Verhältnis der Entfernungen, in welchen er sich dann zugleich von Saturn und Uranus befände, würde seine Aktion auf beide als unter sich vergleichbare Größen herausstellen, und es wäre nicht mehr möglich, die Störungen des Uranus zu erklären, ohne beträchtliche Störungen des Saturn vorauszusetzen. Wir können also füglich annehmen, daß die Bahn des Körpers um die Sonne beiläufig einen doppelt so großen Halbmesser haben werde als die des Uranus.

Erinnert man sich überdies, daß die Bahnen des Jupiter, Saturn und Uranus sehr wenig gegen die Ekliptik geneigt sind, so wird man wohl für eine erste Näherung annehmen können, daß dasselbe auch beim neuen Planeten der Fall sei, was durch die Beobachtungen der Breite des Uranus bestätigt wird, indem diese außer den Breitestörungen durch Jupiter und Saturn keine anderen Perturbationen erkennen lassen. Dies berücksichtigend, legte sich also Le Verrier die folgenden Fragen zur Beantwortung vor: Sind die Störungen des Uranus von der Art, daß sie der anziehenden Wirkung eines Planeten zugeschrieben werden können, der sich in der Ekliptik befindet und dessen mittlere Distanz von der Sonne beiläufig gleich ist der doppelten mittleren Distanz des Uranus? Wenn dies möglich ist, in welchem Punkte der Ekliptik ist derselbe? Wie groß ist seine Masse? Welches sind die Elemente seiner Bahn?

Die Möglichkeit der Beantwortung dieser Fragen unterliegt keinem Zweifel. Denn da durch die Elemente eines Planeten die Störungen bestimmt werden, so muß es auch möglich sein, aus den Störungen, die der unbekannte Planet auf Uranus ausübt, auf die Bahn desselben zurückzuschließen. Nur wird die Auflösung eine höchst komplizierte und weitläufige Rechnung erfordern, weil beide Bahnen, die des Uranus und die des neuen Planeten, so von einander abhängen, daß die Elemente der letzteren allein nicht gefunden werden können, ohne zugleich die Elemente der Uranusbahn zu korrigieren.

Le Verrier entwickelt nun die strengen Formeln, nach denen diese Auflösung durchzuführen wäre, und sucht durch successive Annäherung daraus die Unbekannten zu ermitteln. Es zeigt sich dabei zuerst ganz entschieden, daß es nur eine einzige Gegend in der Ekliptik giebt, wohin man den störenden Planeten versetzen kann, und daß die mittlere Länge desselben am 1. Januar 1800 zwischen 243° und 252° gewesen sein müsse. Durch weitere Näherung

findet Le Verrier die heliocentrische Länge des Planeten für den 1. Januar 1847 gleich 325°. Dieses Resultat teilte er am 1. Juni 1846 der Pariser Akademie mit und gründete darauf mit Recht die Hoffnung, daß, wenn ein bloßer Zufall die Entdeckung des Uranus herbeiführte, man sicher auch diesen neuen, noch unbekannten Körper finden werde, nachdem seine Position doch schon mit solcher Näherung im voraus angezeigt sei.

In der vierten Abteilung giebt Le Verrier endlich die genauere Bestimmung der Bahn des störenden Planeten und seiner Position, so weit sie aus der Gesamtheit der Uranusbeobachtungen — ungefähr 300 an Zahl — ermittelt werden können. Die Resultate, zu denen er gelangte, lauten:

Epoche: 1. Januar 1847.

	Wahrscheinlichste Bahn	Grenzen
Mittlere Länge	318° 47′ 4″	zwischen 310°·5 und 335°·6
Länge des Perihels	284 45 8	= 229·9 = 6·4
Halbe große Achse	36·1539	= 35·04 = 37·90
Excentricität	0·10761	= 0·0592 = 0·2035
Umlaufszeit	217·387 Jahre	= 207 = 233 Jahre
Masse	$^1/_{9322}$ d. Sonnenmasse	= $^1/_{4700}$ = $^1/_{14500}$

Ein günstiger Erfolg der vorhergehenden Untersuchungen hing nun hauptsächlich von dem Grade der Sichtbarkeit des neuen Planeten ab. Man weiß aber, daß der Durchmesser des Uranus, dessen Entfernung von uns beiläufig das 19fache der Distanz der Erde von der Sonne beträgt, unter einem Winkel von 4″ erscheint. Die Masse des Uranus ist ferner 2·5 mal geringer als die des neuen Planeten. Wäre nun das Verhältnis der Dichte beider Körper bekannt, so wäre man imstande, dessen scheinbaren Durchmesser zu finden. Im allgemeinen nehmen die Dichten der Planeten ab, je weiter diese von der Sonne abstehen; nehmen wir aber an, daß die Dichte des neuen Körpers gleich sei der Dichte des Uranus, eine für die scheinbare Größe jenes Körpers sehr ungünstige Voraussetzung, so folgt daraus der scheinbare Durchmesser des neuen Planeten zur Zeit der Opposition = 3″·3. Ein so bedeutender Winkel läßt sich durch ein starkes Fernrohr sehr gut wahrnehmen, wenn anders die Helligkeit des Planeten hinreichend groß ist. Setzt man nun das Reflektionsvermögen der Oberfläche desselben gleich dem der Oberfläche des Uranus voraus, so findet man seine Helligkeit in der Opposition ungefähr gleich $^1/_3$ der Helligkeit des Uranus. Le Verrier bemerkt nach dieser, später von Stampfer zur Größenschätzung der Asteroiden (§ 71) benützten Auseinandersetzung ausdrücklich: „Ces conditions physiques me semblent promettre, que non seulement on pourra apercevoir la nouvelle planète dans les bonnes lunettes, mais encore qu'on distinguera l'amplitude de son disque, que son apparence ne sera pas réduite à celle d'une étoile." Man sieht daraus, mit welcher Vorsorge Le Verrier jeden Umstand berücksichtigte, der das Auffinden des neuen Körpers erleichtern konnte.

Die Übereinstimmung der nach der neuen Theorie mittelst der wahrscheinlichsten Elemente des supponierten Planeten berechneten Orte des Uranus mit den Beobachtungen seit 1781 ist jetzt durchwegs eine sehr gute. Von den 19 älteren Beobachtungen des Uranus, von denen 5 von Flamsteed, je eine von Mayer und Bradley und 11 von Lemonnier herrühren, zeigt nur die älteste von Flamsteed, die den übrigen 22 Jahre vorangeht, und für deren Genauigkeit man eben keine große Garantie hatte, eine Abweichung von 20″; alle übrigen, insbesondere solche, deren Richtigkeit durch andere, gleichzeitige oder naheliegende bestätigt wird, werden ebenfalls sehr gut dargestellt. Auffallend ist es übrigens, daß Lemonnier den Uranus vom 15. bis 23. Januar 1769 sechsmal beobachtete, ohne durch die Bewegung des Gestirnes auf seine eigentliche Natur aufmerksam zu werden.

Den Schluß dieser Abteilung bildet eine sehr scharfsinnige Prüfung der Grenzen, innerhalb welcher die Elemente des störenden Planeten aller Wahrscheinlichkeit nach enthalten sein dürften: sie sind oben neben den wahrscheinlichsten angeführt worden.

In der fünften und letzten Abteilung beschäftigt sich Le Verrier noch mit der Untersuchung, ob es nicht möglich sei, aus den Beobachtungen des Uranus die Position der Bahn des störenden Planeten zu finden, d. h. ihre Neigung gegen die Ekliptik und die Länge des aufsteigenden Knotens. Bewegt sich nämlich der störende Körper nicht genau in der Uranusbahn, so wird er nicht bloß die Länge des Uranus in seiner Bahn verändern, sondern auch merkliche Störungen in der Breite des letztern veranlassen, die desto größer sein werden, je mehr die Bahn des störenden Körpers gegen die Uranusbahn geneigt ist. Aber wir haben schon oben erwähnt, daß außer den durch die Wirkung Jupiters und Saturns erklärbaren Breitenstörungen nur ganz unbedeutende Anomalien wahrzunehmen sind, die denn auch nicht mit Sicherheit auf die zu suchenden Elemente schließen lassen. Jedenfalls geht aber doch daraus hervor, daß die Neigung der Bahn des störenden Körpers gegen die Uranusbahn und folglich auch gegen die Ekliptik eine sehr geringe sein müsse. Le Verrier findet dafür beiläufig 4° bis 6°.

Hiermit war nun so ziemlich alles erschöpft, was sich aus den an Uranus beobachteten Unregelmäßigkeiten bezüglich des unbekannten Planeten im vorhinein sagen läßt. Es war seine Position, seine beiläufige Bahn, ein genäherter Wert seines Durchmessers und seiner Helligkeit u. s. w., kurz soviel gegeben, daß man hoffen konnte, ihn mittelst dieser Daten am Himmel ohne Schwierigkeit zu erkennen. Mit vollem Rechte bemerkt Lindenau über Le Verrier's Arbeit: „Das Studium derselben gewährt ein eigentümliches Interesse durch die in ihr liegende Vereinigung jugendlichen Mutes und gereiften Wissens; denn ein Wagnis war es, aus den (geocentrisch) nicht über 20″ betragenden Abweichungen der Uranustheorie das Vorhandensein eines unbekannten, Hunderte von Millionen Meilen entfernten Himmelskörpers mit Entschiedenheit behaupten und dessen Elemente und Dimensionen aus beider Wechselwirkung bestimmen zu wollen.“

§ 95. (Auffindung und Benennung des neuen Planeten.) Aber um so schöner war der Lohn dieser mühevollen Arbeit. Am 23. September 1846 erhielt Dr. Galle, damals Observator der Sternwarte in Berlin, einen Brief von Le Verrier, worin dieser die letzten Resultate seiner Rechnung und die wahrscheinlichste Position des unbekannten Planeten angiebt, und noch in derselben Nacht gelang Galle die Auffindung desselben. Er fand nahe an dem vorausberechneten Orte einen Stern 8. Größe, welcher auf der von Dr. Bremiker gezeichneten akademischen Sternkarte, die diesen Teil des Himmels umfaßt, nicht anzutreffen war und sich am nächsten Abende durch seine den Tag über gemachte Bewegung unter den Fixsternen als der neue Planet zu erkennen gab. Die Abweichung des wirklichen Ortes vom berechneten betrug kaum einen Grad.

Bei 320maliger Vergrößerung wurde dann auch die Scheibenform des Gestirnes erkannt, und der Durchmesser dieser Scheibe von Galle und Encke zu rund 3″ bestimmt. In der ersten Mitteilung über die Entdeckung an die Astronomischen Nachrichten bemerkt Encke: „Auch hierin hat sich die Vermutung des Herrn Le Verrier, der 3″·3 annimmt, völlig bestätigt. Es wäre überflüssig, noch etwas hinzuzusetzen. Es ist dies die glänzendste unter allen Planetenentdeckungen, weil rein theoretische Untersuchungen die Existenz und den Ort des neuen Planeten haben voraussagen lassen. Erlauben Sie mir nur hinzuzufügen, daß die Auffindung so schnell bloß durch die vortreffliche akademische Sternkarte von Bremiker möglich war. Eine Scheibe läßt sich erst erkennen, wenn man weiß, daß es so ist."

Nachdem nun der Planet entdeckt war, sollte er denn auch, nach der Gewohnheit der Astronomen, einen passenden Namen bekommen. Galle weist in dem Briefe, den er am 25. September an Le Verrier schrieb, auf den Namen Janus hin. Le Verrier aber lehnt diesen Vorschlag in seiner Antwort vom 1. Oktober ab, indem er bemerkt: „Le nom de Janus indiquerait, que cette planète est la dernière du système solaire, ce qu'il n'y a aucune raison de croire . .", und erwähnt hierauf den vom Bureau des Longitudes gefaßten Beschluß, den neuen Planeten „Neptun" zu nennen, und für dessen Zeichen einen Dreizack (♆) anzunehmen. In einem späteren Briefe (vom 6. Oktober) jedoch sagt er, daß er die Entscheidung über die Benennung des Planeten Arago überlassen habe, und fügt noch hinzu: „ . . . j'ai été un peu confus de la décision, qu'il (Arago nämlich) a prise dans le sein de l'Académie . ." Welcher Art diese Entscheidung gewesen sei, ersieht man aus den Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences vom 5. Oktober 1846, wo es heißt: „Mr. Arago a annoncé à l'Académie, qu'ayant reçu de Mr. Le Verrier une délégation très flatteuse, le droit de nommer la nouvelle planète, il s'est décidé, à la désigner par le nom de celui, qui l'a si savamment découverte, à l'appeler Le Verrier." Die Astronomen schienen anfangs unentschieden darüber zu sein, welcher Name als der passendste

beizubehalten sei, und die in ihrer Art einzige Entdeckung mochte wohl viele von ihnen bestimmen, den Namen Le Verrier jeder anderen, mythologischen Benennung vorzuziehen. Indessen entschied sich doch später die ganze astronomische Welt für den vom Bureau des Longitudes vorgeschlagenen Namen Neptun, besonders als sich Autoritäten wie Gauß, Encke, J. Herschel, W. Struve u. a. für denselben aussprachen.

§ 96. (Adams Arbeiten über die Uranustheorie.) Kaum hatte sich die Nachricht von der wirklichen Auffindung des neuen Planeten durch Galle in England verbreitet, als einige der ausgezeichnetsten englichen Astronomen: Airy, Challis, J. Herschel die Behauptung erhoben, daß ein junger englischer Mathematiker, Adams in Cambridge, die Bearbeitung der Uranustheorie noch vor Le Verrier unternommen und auch vollendet habe; ja es wurde sogar die Auffindung des Planeten am Himmel dem oben genannten Berliner Astronomen streitig gemacht, indem Challis in Cambridge diese Entdeckung schon früher gelungen sein sollte. Der hierüber entstandene Streit wurde englischerseits von Airy, Challis, Herschel zu Gunsten von Adams geführt, während sich auf französischer Seite Arago und Le Verrier ernstlich daran beteiligten. Wir wollen diese interessante Polemik wenigstens in den Hauptmomenten verfolgen, insbesondere weil es von Wichtigkeit ist, den Anteil von Adams an der Entdeckung Neptuns sowie dessen ganze Arbeit kennen zu lernen und sie mit Le Verrier's Leistung zu vergleichen.

Daß sich Adams schon im Jahre 1844 mit der Theorie des Uranus beschäftigte, erhellt aus einem Briefe Challis' an Airy vom 13. Februar 1844, in welchem Challis erwähnt, daß einer seiner jungen Freunde, Mr. Adams vom St. John's College, mit der Theorie des Uranus sich beschäftige und die Tafelfehler in geocentrischer Länge in der Nähe der Opposition für 1818 bis 1826 aus den Greenwicher Beobachtungen zu erhalten wünsche. Zugleich fragt Challis für Adams an, ob außer der Masse Jupiters sich in den Grundlagen für Bouvard's Tafeln des Uranus irgend etwas geändert habe. Airy beantwortete diesen Brief am 15. Februar 1844 mit Übersendung der vollständigen Reduktion aller Beobachtungen in Länge sowohl als in Breite von 1754 bis 1830 und den nötigen Nachweisungen bezüglich der zweiten Frage. In Challis' Antwort vom 16. Februar 1844 meint dieser, daß Adams nun mit den Mitteln versehen sei, um die Untersuchung, mit der er eben beschäftigt, auf die wirksamste Weise durchzuführen.

Ein Jahr und einige Monate später überbrachte Adams persönlich einen von Challis an Airy geschriebenen Empfehlungsbrief (geschr. am 22. September 1845) folgenden Inhaltes: „Mein Freund Adams, der Ihnen diese Zeilen einhändigen wird, hat seine Rechnungen über die Störungen des Uranus durch einen supponierten weiteren Planeten beendet und Resultate gefunden, die er Ihnen gern persönlich mitteilen wollte. Seine Rechnungen gründen sich auf die Beobachtungen, welche Sie so gütig waren, ihm vor einiger Zeit mitzuteilen.

Seine mathematischen Kenntnisse und seine Fertigkeit im Rechnen geben mir Vertrauen in seine erhaltenen Resultate." Adams traf Airy nicht zu Hause, da dieser sich eben in Paris aufhielt. In den letzten Tagen des Oktobers 1845 kam Adams zum zweitenmal nach Greenwich und ließ, da er Airy wieder nicht antraf, folgendes Schreiben auf der Sternwarte zurück:

„Nach meinen Rechnungen können die bekannten Unregelmäßigkeiten in der Bewegung des Uranus durch die Annahme eines äußeren Planeten mit nachstehenden Elementen erklärt werden:

Mittlere Distanz (nahezu nach Bode's Reihe angenommen)	38·4
Mittlere Länge am 1. Oktober 1845 . .	323° 34′
Mittlere jährliche Bewegung	1° 30′ 9″
Länge des Perihels	315° 55′
Excentricität	0·1610
Masse	$^1/_{6039}$ der Sonnenmasse.

Für die neueren Beobachtungen habe ich mich der Methode der Normalorte bedient und die Greenwicher Beobachtungen bis 1830 benützt, von dieser Zeit ab Greenwicher und Cambridger sowie die in den „Astronomischen Nachrichten" gegebenen Positionen. In mittlerer Länge bleiben folgende Fehler übrig:

	Fehler in Länge		Fehler in Länge		Fehler in Länge
1780	+ 0″·3	1801	− 0″·1	1822	+ 0″·3
1783	− 0 ·2	1804	+ 1 ·8	1825	+ 1 ·9
1786	− 1 ·0	1807	− 0 ·2	1828	+ 2 ·2
1789	+ 1 ·8	1810	+ 0 ·6	1831	− 1 ·1
1792	− 0 ·9	1813	− 0 ·9	1834	− 1 ·4
1795	+ 0 ·1	1816	− 0 ·3	1837	− 1 ·6
1798	− 1 ·0	1819	− 2 ·0	1840	+ 1 ·7

für die älteren Beobachtungen ergeben sich nachstehende Fehler:

1690	+ 44″·4	1750	− 1″·6	1763	− 5″·1
1712	+ 6 ·7	1753	+ 5 ·7	1769	+ 0 ·6
1715	− 6 ·8	1756	− 4 ·6	1771	+ 11 ·8

Diese Fehler sind klein, mit Ausnahme der Flamsteed'schen Beobachtung von 1690. Da diese Beobachtung ganz isoliert ist, und von den übrigen sehr weit absteht, so glaubte ich am Besten zu thun, sie bei der Bildung der Bedingungsgleichungen unberücksichtigt zu lassen. Indessen dürfte eine kleine Änderung der mittleren Bewegung auch diese Abweichung verschwinden machen."

Um dieselbe Zeit erhielt auch Lassell durch Dawes, welcher bei Airy Einblick in Adams Rechnungen bekommen hatte, eine briefliche Notiz über den Ort des vermuteten Planeten im Oktober 1845, und war zur Nachsuchung nach demselben fest entschlossen, kam aber anfangs wegen Kränklichkeit, und später deshalb nicht dazu, weil er den Brief von Dawes nicht mehr finden konnte.

Airy beantwortete die Note von Adams am 5. November und erklärt die angegebenen Zahlen für sehr befriedigend, legt auf Flamsteed's Beobachtung ebenfalls wenig Gewicht, verlangt aber zu wissen, ob auch der Fehler im Radius Vektor von Uranus sich auf diese Weise darstellen läßt. Airy wartete, wie er später gesteht, mit großer Spannung auf Adams' Antwort. Wäre diese bestätigend ausgefallen, so hätte er sofort mittelbar oder unmittelbar für die Bekanntmachung der Adams'schen Arbeit Sorge getragen. Aus ihm unbekannter, wahrscheinlich zufälliger Ursache war diese Antwort nicht erfolgt, was er in mehrfacher Rücksicht tief bedauere.

Bald darauf erschien die erste und zweite Abteilung von Le Verrier's Arbeit, deren Inhalt wir oben im Auszuge mitgeteilt haben. Airy fühlte sich sehr erfreut und befriedigt durch die Übereinstimmung von Le Verrier's Resultaten mit denen von Adams, die er schon vor sieben Monaten erhalten hatte. Der Ort, der dem neuen Planeten von beiden Rechnern angewiesen wurde, stimmte auf etwa 1°. Bis dahin hatte Airy Zweifeln über die Richtigkeit von Adams' Arbeit Raum gegeben; nun erst faßte er Vertrauen zu beider Geometer Arbeit, und äußerte sich vor einer Kommission auf der Greenwicher Sternwarte, welcher auch Herschel und Challis beiwohnten, so entschieden, daß aus den übereinstimmenden Arbeiten Le Verrier's und Adams' mit großer Wahrscheinlichkeit die Entdeckung eines neuen Planeten zu erwarten stehe, daß Challis dadurch angeregt wurde, die Aufsuchung jenes Planeten selbst zu unternehmen.

Am 9. Juli 1846 schrieb Airy an Challis, daß er aus mehreren Gründen, worunter die vermeintliche Lichtschwäche des Objektes, nur dann Hoffnung auf Erfolg einer Durchforschung des Himmels nach dem neuen Planeten setze, wenn das große Northumberland-Teleskop dazu verwendet würde, und erbot sich, ihm einen Assistenten zu diesem Behufe zur Verfügung zu stellen. Am 13. Juli schickte Airy dem Prof. Challis Bemerkungen über die Durchsuchung des Himmels nach dem vermuteten Planeten und forderte von neuem dringend zu dieser Arbeit auf. Der Teil des Himmels, den Airy zu durchsuchen für nötig fand, war 30° lang, 10° breit und lag in der Richtung der Ekliptik. Challis antwortete am 18. Juli und erklärte, selbst der Arbeit sich unterziehen zu wollen. Sein Plan war von dem Airy's etwas abweichend und bewährte sich auch als der bessere. Challis begann die Durchsuchung am 29. Juli und hatte in der That Neptun bereits mappiert, ehe er von Galle entdeckt wurde, aber ohne ihn als Planeten zu erkennen.

Am 2. September 1846 erhielt Airy nochmals einen Brief von Adams, worin dieser bemerkt, daß er der anfangs nach Bode's Gesetz angenommenen mittleren Distanz einen um $^1/_{30}$ ihres früheren Betrages kleineren Wert gegeben und damit eine größere Übereinstimmung mit den Beobachtungen erzielt habe. Er meint, durch weitere Verminderung der mittleren Distanz könne diese Übereinstimmung noch vermehrt, sowie andererseits die anfangs erhaltene unwahrscheinlich

große Excentricität auf einen sehr kleinen Wert herabgebracht werden. Masse und Elemente des neuen Planeten hatte er nun so gefunden:

Mittlere Länge am 1. Oktober 1846	323° 2′
Länge des Perihels	299°
Excentricität	0·12062
Masse	$^1/_{6665}$ der Sonnenmasse.

Adams setzt noch bei, daß die Abweichungen nach beiden Hypothesen schon bis zum Jahre 1843 bedeutend im Zunehmen begriffen seien, und wünscht deshalb noch neuere Beobachtungen des Uranus. Von Flamsteed's erster Beobachtung im Jahre 1690 sagt er wieder, daß sie sich nicht fügen wolle, und schließt sein Schreiben mit der Bemerkung, daß er beschäftigt sei, die Fehler in der Breite des Uranus zu untersuchen, mit der Absicht, einen Näherungswert für die Neigung und die Lage des Knotens der neuen Planetenbahn zu erhalten, die Neigung scheine ihm vorläufig bedeutend groß, die Länge des aufsteigenden Knotens bei 300°.

Indessen hielt aber Le Verrier seine letzten, betreffenden Vorträge (am 31. August und 5. Oktober) in der Pariser Akademie und überflügelte so Adams, der noch immer mit der Bekanntmachung seiner Arbeit säumte.

Aus dieser Darstellung erhellt, daß Adams und Le Verrier sich gleichzeitig und unabhängig von einander mit der Uranustheorie beschäftigten, daß Adams anfänglich in seinen Untersuchungen Le Verrier in der That voraus war, und daß eigentlich nur das ungerechtfertigte Mißtrauen, das die hervorragendsten englischen Astronomen in die Berechnungen ihres Landsmannes setzten, diesen gegen seinen französischen Rivalen den Kürzeren ziehen ließ. Zugleich ersieht man aber auch daraus, daß die Entdeckung Neptuns in ähnlicher Weise wie die Auffindung des Gravitationsgesetzes (III. Abt. § 3) oder die Erkenntnis der Natur der Sternschnuppen (Kap. XIV.) im Grunde ein Eigentum des ganzen Zeitalters und Le Verrier nur gleichsam der Träger des Ausdruckes seiner Zeit ist.

§ 97. (Schlußbemerkungen; Entfernung, Umlaufszeit u. s. w. des Neptun.) Den bisherigen Bahnbestimmungen a priori folgten nun bald eigentliche Berechnungen aus den vorhandenen Beobachtungen, welche bereits innerhalb weniger Wochen zu einem sehr genauen Resultate führten, weil ebenso wie von Uranus auch von Neptun ältere, weit zurückliegende Beobachtungen aufgefunden wurden. Wenige Monate nach der Entdeckung des Planeten fanden nämlich gleichzeitig Petersen in Hamburg und Walker in Washington, daß derselbe im Jahre 1795 von Lalande als Fixstern beobachtet worden war. Später wies Mauvais aus den handschriftlichen Originalen der Histoire Céleste nach, daß ihn Lalande sogar an zwei Abenden (8. und 10. Mai) des genannten Jahres beobachtet, aber, durch die Bewegung desselben irregeführt, bei der Publikation eine dieser Positionen als fehlerhaft weggelassen hatte.

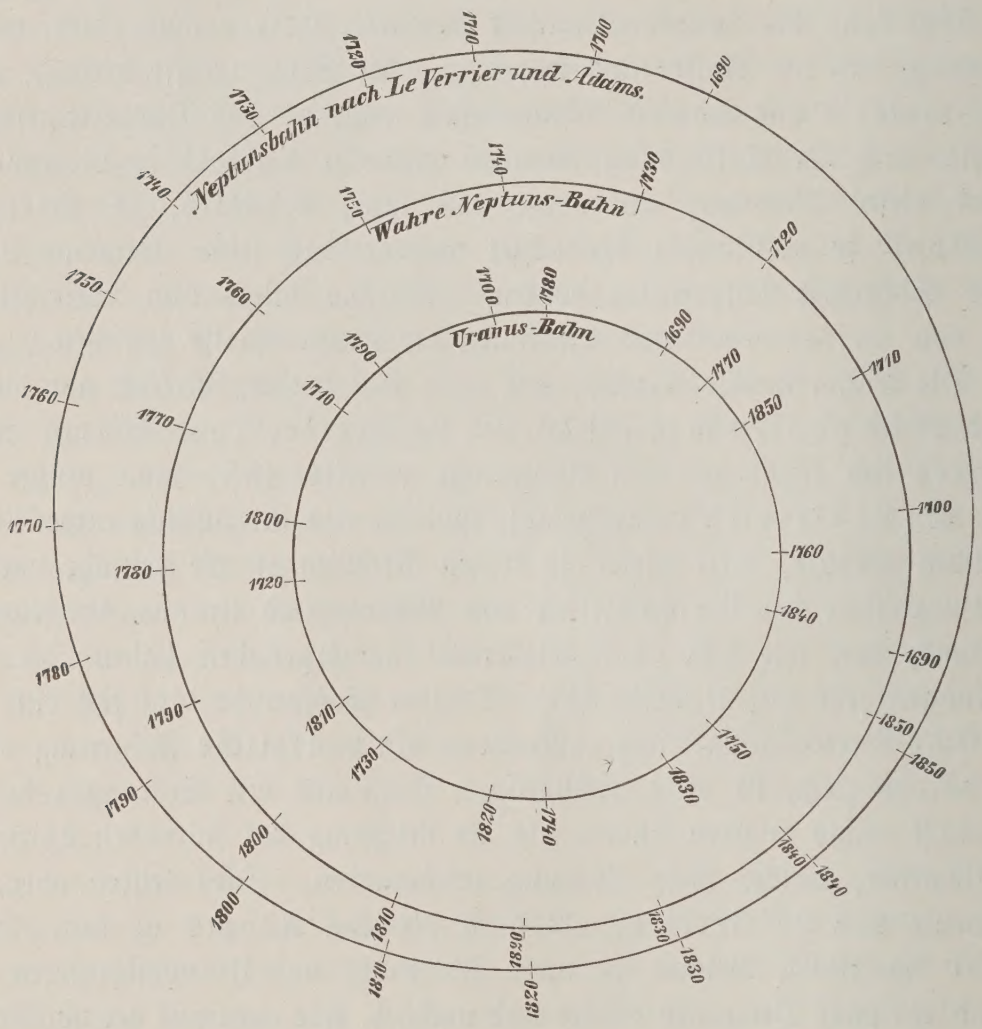
Gleich bei der ersten genaueren Bahnbestimmung von Walker, die auch

Flamsteed's erste Position des Uranus überraschend gut darstellte, fiel der bedeutende Unterschied der nun gefundenen wirklichen Elemente und namentlich der mittleren Entfernung Neptuns (30 Erdbahnhalbmesser) von der hypothetischen (36) auf, welche zu dessen Entdeckung geführt hatte, nicht etwa wegen der Abweichung von der Bode'schen Reihe (§ 65), die man nicht als ein eigentliches Naturgesetz betrachten kann, sondern wegen des Einflusses, den solche Änderung eines der wichtigsten Elemente auf andere bisherige Annahmen ausübte. So mußte z. B. die Masse Neptuns sich in Wirklichkeit viel kleiner zeigen, wenn Neptun soviel näher an Uranus stand, als man einstweilen vorausgesetzt hatte. In der That fand der nordamerikanische Geometer Peirce nach einer mühsamen Untersuchung, daß die Masse etwa nur $^1/_{20000}$ der Sonnenmasse betrage, während aus Le Verrier's und Adams' Rechnungen mehr als das Doppelte gefolgt war. Sehr bald nach der Auffindung Neptuns entdeckte Lassell in Liverpool einen Satelliten dieses Planeten, der dann von ihm, Challis, O. Struve und G. P. Bond so vollständig beobachtet wurde, daß seine Elemente bald mit ziemlicher Sicherheit festzustellen waren. Daraus folgte nun übereinstimmend mit den von Peirce erhaltenen Resultaten die Neptunsmasse zwischen $^1/_{15000}$ und $^1/_{20000}$. Die Bahn, welche Neptun, wie man jetzt wußte, wirklich um die Sonne beschreibt, ist im ganzen so verschieden von Le Verrier's und Adams' Angaben, daß Peirce sich sogar zu dem Ausspruche verleiten ließ, man müßte Neptun nicht als von Le Verrier vorausgesagt, sondern nur für zufällig entdeckt ansehen, hauptsächlich deshalb, weil dieser in seinen Rechnungen die beinahe vorhandene Kommensurabilität der Umlaufszeiten von Neptun und Uranus übersehen habe, ein Umstand, der, wie wir schon wiederholt hervorgehoben haben (§§ 73, 86) die Störungen sehr wesentlich berührt. Diesem Ausspruche läßt sich eine gewisse theoretische Berechtigung nicht absprechen: die praktische Folgerung aber, die Peirce daraus zieht, ist nicht stichhaltig. Denn aus den Störungen kann man doch zunächst nichts anderes finden, als die Richtung des störenden Körpers, und damit Elemente, welche diese Richtung wiedergeben. Dies leisten aber sowohl die Elemente von Le Verrier, als auch die von Adams in dem Zeitraume von 1780 bis 1840, welcher zu ihrer Ableitung aus Uranusstörungen gedient hatte, und ein paar Decennien vorher und nachher, wie man aus der nachstehenden, von A. F. D. Wackerbarth entworfenen Zeichnung (Fig. 71) sofort ersieht. In weiter entfernten Epochen, etwa um 1700, besteht allerdings ein enormer Unterschied zwischen dem wahren und errechneten Neptunsorte, und aus diesem Grunde ließ sich auch Flamsteed's Beobachtung aus dem Jahre 1690 nicht darstellen: aus dieser Epoche lagen aber sonst keine hinreichend genauen Beobachtungen von Uranus vor, die Le Verrier und Adams zur Berechnung oder auch nur zur Verbesserung ihrer Bahnen ein geeignetes Material hätten liefern können.

Nach unseren jetzigen Kenntnissen ist die mittlere Entfernung Neptuns von der Sonne sehr nahe 30mal so groß als die mittlere Entfernung der Erde von

der Sonne. In Kilometern ausgedrückt, beträgt sie 4 464 000 000. Seine größte Entfernung von der Sonne ist 4510 Millionen, seine kleinste 4420 Millionen km. Die Entfernung von der Erde schwankt zwischen 4655 und 4274 Millionen km. Was die Umlaufszeit betrifft, so beläuft sie sich siderisch auf 164·6, tropisch auf 163·5 Jahre, synodisch auf 367·46 Tage (I, § 84, 85, 86). Der scheinbare von der Erde aus gesehene Durchmesser fällt zwischen 2·4″ und 2·7″; sein wirklicher beträgt 55 000 km, ist also $4^1/_3$ mal so groß als der Durch-

Fig. 71.



messer der Erde, aber nur $^1/_{25}$ vom Durchmesser der Sonne. Die Oberfläche des Neptun ist 9500 Millionen qkm, also nahe 19mal so groß als die der Erde; sein Volumen 87 Billionen kkm oder nahe das 20fache des Volumens der Erde; seine Masse endlich beträgt $^1/_{19000}$ der Sonnenmasse oder das 16fache der Erdmasse. Das Spektrum Neptuns scheint nach H. C. Vogel dem des Uranus ähnlich zu sein. Er sendet uns nach Zöllner in mittlerer Oppositions-Entfernung den 79·6billionsten Teil des Sonnenlichtes zu.

§ 98. (Sind noch transneptunische Planeten vorhanden?) Bereits wenige Decennien

nach der Entdeckung des Uranus tauchte die Frage auf, ob er in der That der letzte Planet unseres Sonnensystemes sei; eine Frage, die bei der Entdeckung Neptuns natürlich abermals angeregt wurde. Daß die Kraft der Sonne ausreiche, noch weit über Uranus und Neptun hinaus, Körper zu zwingen, sie zu umkreisen, unterliegt keinem Zweifel; und in dieser Überzeugung beschäftigten sich auch bereits am Ende des Jahres 1800 Lalande und Burckhardt mit dem Aufsuchen eines transuranischen Planeten, wie Mauvais aus einer Bemerkung in dem Manuskripte Lalande's, das der oben erwähnten Histoire céleste zu Grunde liegt, schloß. Ebenso haben wir gesehen (§ 95), daß Le Verrier den von Galle für Neptun vorgeschlagenen Namen Janus ablehnte, damit es nicht scheine, als ob man mit diesem Namen andeuten wolle, daß er der äußerste Planet des Sonnensystemes sei. Dies zugegeben fragt es sich weiter, ob und welche Aussichten wir haben, solche eventuelle transneptunische Planeten aufzufinden.

Das nächstliegende in dieser Richtung scheint wohl zu sein, die Entdeckung solcher, ebenso wie des Neptun, auf theoretische Weise, durch Rechnung zu versuchen. Erinnert man sich aber an die Betrachtungen, die wir über die mutmaßliche Entfernung des störenden Planeten von Uranus (§ 94) angestellt haben, so wird man genau auf dieselbe Art wie dort zu dem Schlusse geführt, daß ein solcher nur weit außerhalb der Bahn des Neptun gesucht werden kann. Dann werden aber die Störungen, wegen der langsamen Bewegung Neptuns und des störenden Körpers lange Zeit hindurch nahezu in gleicher Weise wirken, und sich deshalb viel länger durch Änderungen der Elemente der Neptunsbahn ausgleichen lassen, ehe sie sich bestimmt als Störungen zu erkennen geben, als dies bei Uranus der Fall war. Es wird daher eine derartige Untersuchung frühestens am Ende des kommenden Jahrhundertes mit Aussicht auf Erfolg unternommen werden können. Inzwischen dürfte jedoch die Entdeckung eines solchen Planeten mittelst der Photographie längst gelungen sein, vorausgesetzt, daß er vorhanden ist und eine genügende Helligkeit besitzt, um uns überhaupt sichtbar zu sein.

Wir können übrigens nicht unterlassen beizufügen, daß Forbes aus kosmogonischen Ideen und Prinzipien bereits vor längerer Zeit das Vorhandensein von zwei transneptunischen Planeten zu deduzieren suchte und auch deren mutmaßlichen Ort am Himmel angab. Dies veranlaßte vor kurzem Roberts, die betreffende Himmelsgegend in einem weiten Umkreise einer sehr genauen und sorgfältigen photographischen Aufnahme zu unterziehen, die zu dem Resultate führte, daß in derselben bis zu den kleinsten, auf den Platten noch abgebildeten Sternen herab kein bewegliches Gestirn sich aufgehalten habe.

§ 99. (Bewohner der Planeten.) Dieselben Betrachtungen, welche wir im § 92 bei Gelegenheit der Bewohner des Uranus angestellt haben, könnten wir auch bei Neptun und mit noch größerem Rechte wiederholen. Statt dessen wollen wir aber hier mit ein paar allgemeinen Bemerkungen über diesen Gegenstand schließen.

Man kann es wohl als ziemlich sicher betrachten, daß sämtliche Weltkörper in einem gewissen Stadium ihrer Entwickelung und Ausbildung mit Geschöpfen aller Art bedeckt sind, und daß auch dort zahllose organische Wesen sich ihres Lebens erfreuen. Auf unserer Erde finden wir jedes Sandkorn, jeden Wassertropfen belebt; — wie sollten so unermeßliche Kugeln ganz ohne Bewohner sein? Auf unserer Erde finden wir ferner nicht bloß bei den Tieren, sondern selbst bei den Menschen, welche die verschiedenen Gegenden der Erde bewohnen, bei dem Lappländer und dem Neger so große Unterschiede; — wie sollten sie bei den Bewohnern anderer Welten nicht noch größer sein. Es ist daher ohne Zweifel unrecht, die Zufriedenheit und das Wohlsein dieser Bewohner nach unseren Bedürfnissen abzumessen, und sie sofort für unglücklich zu achten, weil wir uns, in die bei ihnen herrschenden Verhältnisse versetzt, nicht glücklich fühlen würden, Verhältnisse, die sie, mit einer anderen Organisation und mit ganz anderen Einrichtungen versehen, auch wohl wieder mit ganz anderen Augen ansehen werden. Es hat nicht an Solchen gefehlt, und unter ihnen haben sich selbst berühmte Astronomen gefunden, die sich diesen Spekulationen mit einer Art von Vorliebe hingegeben haben und die sich nicht damit begnügten, zu sehen, welchen Einfluß eine andere Einrichtung der Jahreszeiten, der Temperatur und Beleuchtung bei fremden Weltkörpern auf die Bewohner derselben, wenn sie im allgemeinen uns ähnlich wären, hervorbringen würde, sondern die diese Spiele der Einbildungskraft oder ihre schwärmerischen Träume auch noch auf die übrigen körperlichen und geistigen Eigenschaften der Bewohner jener Planeten fortgesetzt haben. Doch wollen wir ihnen auf diese exspatiationes ingenii, wie Kepler solche ungeregelte Ausflüge der Phantasie genannt hat, nicht folgen, und uns zufrieden geben, daß wir von der Natur auf einen Ort im Weltraume gewiesen worden sind, der von allen jenen Extremen, von der Hitze Merkurs und von der Kälte Neptuns gleich weit entfernt ist, und wenn jener alte Philosoph den Göttern dankte, daß er zum Menschen und nicht zum Tiere geschaffen, daß er als ein Grieche und nicht als ein Barbar geboren ward, so wollen auch wir es dankbar erkennen, daß wir auf den unserer Organisation angemessensten, auf einen mittlern, gemäßigten Planeten, und wir Europäer überdies auf die gemäßigte Zone desselben versetzt worden sind, und daß wir uns vieler Wohlthaten erfreuen und tausende von Genüssen erlauben können, für welche die Bewohner des Senegal oder des Eismeeres keinen Sinn haben oder ihn nur zu ihrem eigenen Unglücke haben könnten, da sie ihn nicht zu befriedigen vermöchten.

Kapitel XI.

Der Mond.

§ 100. (Umlaufszeiten und Entfernung des Mondes.) Nächst der Sonne erregte ohne Zweifel der Mond schon sehr früh die Aufmerksamkeit der ersten Beobachter des Himmels. Er erhellt unsere Nächte, er leitet den Wanderer in fremden Ländern und den Schiffer auf unbekannten Meeren; ihm verdanken wir einen großen Teil unserer Zeitrechnung, die tägliche Ebbe und Flut des Oceans und vielleicht auch einigen Einfluß auf unsere Witterung und dadurch selbst auf unsere Gesundheit.

Wenige Tage schon reichen hin, zu bemerken, daß er, nebst seinem täglichen Umlaufe um die Erde, den er mit allen Gestirnen des Himmels gemein hat, und der, wie wir wissen, bloß scheinbar ist, auch noch eine ihm eigentümliche Bewegung hat, mit welcher er täglich unter den Fixsternen nahe 13° von West gen Ost fortschreitet. Genaue Beobachtungen dieser seiner Bewegung haben gezeigt, daß die siderische Umlaufszeit des Mondes um die Erde 27·32167 mittlere Sonnentage beträgt. Darnach beläuft sich seine tropische Umlaufszeit (I, § 85) auf 27·32159 Tage, und die Zeit zwischen zwei Konjunktionen oder die synodische Revolution (I, § 86) auf 29·53059 Tage.

Der Mond vollendet diese seine Bewegung um die Erde in einer Ellipse, deren einen Brennpunkt der Mittelpunkt der Erde einnimmt. Die halbe große Achse dieser Ellipse, d. h. die mittlere Entfernung des Mondes von der Erde beträgt 60·2778 Erdhalbmesser oder 384 420 km, und die Excentricität derselben 0·05491 Teile der halben großen Achse oder 21 110 km. Wenn der Mond in seiner mittleren Entfernung von der Erde ist, so beträgt die Horizontalparallaxe desselben (I, § 40) unter dem Äquator der Erde 57′ und dann erscheint der Halbmesser des Mondes im Horizonte unter dem Winkel von 15·6′, woraus folgt, daß sein wahrer Halbmesser 1741 km beträgt. Das Verhältnis des Mondes zur Erde ist daher im Durchmesser wie 1 zu 3·69, in der Oberfläche wie 1 zu 13·60 und im Volum wie 1 zu 50·15.

Der Mond ist uns von allen Himmelskörpern bei weitem der nächste, und seine Entfernung noch so gering, daß sie durch die einfachsten bei Gelegenheit der Parallaxe erwähnten Methoden (I, § 41) gemessen werden kann. Überdies geben uns seine Phasen, die wir sogleich besprechen werden, ein sehr einfaches Mittel an die Hand (I, § 88), das Verhältnis der Distanz des Mondes zu der Entfernung der Sonne von der Erde wenigstens beiläufig zu finden.

Die Bewegung des Mondes in seiner Bahn ist großen Ungleichheiten unterworfen, die sich beinahe alle auf den Stand desselben gegen die Sonne beziehen, und in der gegenseitigen Einwirkung der Himmelskörper aufeinander begründet sind. Wir kommen später ausführlicher auf diesen Gegenstand zurück (III. Abt.,

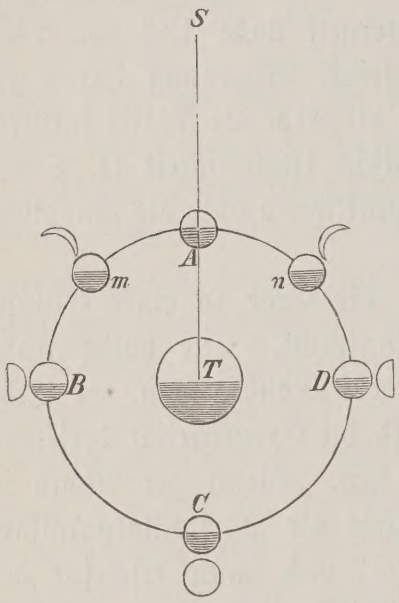
Kap. V. u. VI.) und wollen hier vorläufig nur zwei dieser Störungen des Mondlaufes durch die Sonne in Kürze berühren.

Die eine davon besteht darin, daß die Knotenlinie der Mondbahn, d. h. die Durchschnittslinie der Mondesbahn mit der Ekliptik in einem Jahre um einen Winkel von 19·34° auf der Ekliptik zurückweicht. Infolgedessen erreicht der Mond denselben Knoten wieder, ehe er eine volle Revolution um die Erde vollendet hat. Man nennt diese Zeit, die 27·22122 Tage beträgt, Drachenmonat.

Die andere Störung ist ähnlicher Natur. Sie besteht in einer jährlichen Drehung der Apsidenlinie (I, § 72) um 40·96° gegen die Nachtgleichenpunkte, aber nach vorwärts, so daß die Zeit zwischen zwei konsekutiven Periheldurchgängen des Mondes länger als seine siderische Revolution ist. Sie wird anomalistischer Monat genannt, und hat eine Länge von 27·55460 Tagen.

§ 101. (Phasen des Mondes.) Die auffallendsten Erscheinungen, die uns der Mond darbietet, sind die abwechselnden Lichtgestalten oder die Phasen desselben.

Fig. 72.



Sei S (Fig. 72) die Sonne in einer sehr großen Entfernung von der Erde T, um welche sich der Mond in seiner Bahn ABCD bewegt. Wenn der Mond in A zwischen Sonne und Erde ist, so steht er für uns an demselben Orte des Himmels, wo wir auch die Sonne sehen, und geht mit der Sonne zugleich auf und unter. Man nennt diese Zeit Neumond. Wenn wir den Mond, gleich den übrigen Körpern des Himmels, kugelförmig annehmen und überdies voraussetzen, daß er kein eigenes Licht habe, sondern nur mit dem von der Sonne geborgten und auf uns reflektirten Lichte scheine, so wird die Mondeskugel zur Zeit des Neumonds ihre beleuchtete Hälfte, die natürlich immer der Sonne zugewendet sein muß, von der Erde abgewendet haben oder wir werden nur die dunkle Seite des Mondes, d. h. wir werden ihn gar nicht sehen.

Einige Tage nach dem Neumonde erblickt man den Mond, der anfangs bei der Sonne stand, schon bedeutend links oder östlich von derselben. Da nämlich seine synodische Revolution 29·5 Tage beträgt, so wird er in 3·7 Tagen schon den achten Teil seines Umkreises um die Erde, in Beziehung auf die Sonne, zurückgelegt haben und in dem Punkte m seiner Bahn oder in seinem ersten Oktanten sein und in dieser Stellung der Erde T nicht mehr die ganze dunkle Seite zukehren, sondern die Erde wird bereits auf der rechten oder westlichen Seite des Mondes einen, obschon nur kleinen Teil jener beleuchteten Seite sehen. Der Mond wird uns daher hier als eine beleuchtete Sichel er-

scheinen, deren hohle Seite von der Sonne abgewendet oder links gekehrt ist, wie die Zeichnung bei m zeigt. Da übrigens jetzt der Mond links von der Sonne steht, so wird er erst nach ihr oder bei Tage, in den Morgenstunden, aufgehen und ebenso erst nach der Sonne, in den bereits dunklen Abendstunden, untergehen.

In 7·4 Tagen nach dem Neumonde ist er in B, wo er bereits den vierten Teil seiner synodischen Bahn zurückgelegt hat. In dieser Lage des Mondes, die man die erste Quadratur oder das erste Viertel nennt, ist von der beleuchteten sowohl als auch von der dunklen Seite desselben genau die Hälfte gegen die Erde gekehrt; die letzte sieht ihn daher als eine halbe kreisförmige Scheibe. Die frühere Sichel ist seit dem Neumonde immer breiter geworden, indem sich ihre Höhlung allmählich mit Licht ausfüllte, bis endlich hier ihre innere Krümmung zu einer geraden Linie, zu einem Durchmesser des Mondes wird, der in unseren mittleren nördlichen Breiten die Gestalt eines D zeigt. Da der Mond hier um 90° von der Sonne, auf der Ostseite derselben, absteht, wird er, in seinem ersten Viertel, 6 Stunden nach ihr oder nahe um Mittag auf- und um Mitternacht untergehen, also die ersten Stunden der Nacht beleuchten, nach Mitternacht aber unsichtbar sein.

Nach weiteren 7·4 Tagen seit dem ersten Viertel ist der Mond in C. Hier ist seine zur Sonne gewendete oder beleuchtete Scheibe auch zugleich ganz der Erde zugekehrt; die Erde sieht ihn daher hier, im Vollmonde, als eine kreisrunde, ganz beleuchtete Scheibe. Da er jetzt der Sonne gerade gegenüber oder mit ihr in Opposition steht, wird er aufgehen, wenn sie untergeht, und untergehen, wenn sie aufgeht. Man wird ihn also nun die ganze Nacht durch sehen.

Indem er sich von da noch weiter gegen die linke Seite des Beobachters, von C nach D, bewegt, wird er ihm auch allmählich einen immer größeren Teil seiner dunklen Hälfte, und zwar jetzt auf der rechten Seite zuwenden, und diese Verdunkelung wird immer zunehmen, bis sie endlich in D die ganze rechte Hälfte desselben einnimmt. Der Mond wird uns nun, in der zweiten Quadratur oder im letzten Viertel, ganz so wie in B, zur Zeit des ersten Viertels, erscheinen, nur mit dem Unterschiede, daß die beleuchtete Hälfte hier links steht, während sie dort rechts gewendet war. Da übrigens der Mond hier wieder 90° oder 6^h von der Sonne, aber auf der Westseite derselben, absteht, so wird er auch 6 Stunden vor ihr, d. h. um Mitternacht auf- und um Mittag untergehen. Nach dem Vollmonde werden also die ersten Stunden der Nacht ohne Mondschein sein, so wie vor dem Vollmonde diese beleuchtet waren. Nach dem Neumonde sehen wir daher den Mond immer länger in den Abendstunden, am westlichen Himmel; nach dem Vollmonde aber immer später in den nächtlichen Morgenstunden auf der Ostseite des Himmels.

Indem nun der Mond noch weiter gegen Osten fortgeht, wird die dunkle Seite am westlichen Rande immer größer, und die beleuchtete linke Seite desselben

nimmt wieder die Gestalt einer immer schmäleren Sichel an, deren innere Höhlung aber jetzt rechts oder westlich gewendet ist und in unseren mittleren nördlichen Breiten die Form eines C hat, wie die dem Punkte n oder seinem letzten Oktanten bezeichnete Figur zeigt.| Je mehr sich der Mond auf der Westseite der Sonne nähert, desto mehr nimmt die Breite dieser lichten Sichel ab, bis sie endlich, wenn der Mond wieder bei der Sonne in A ist, ganz verschwindet. Der Mond ist nun wieder im Neumonde oder unsichtbar, und beginnt eine zweite Periode seiner Lichtgestalten (Lunation), die er in derselben Ordnung wie die vorhergehende durchläuft.

Als mnemotechnisches Hilfsmittel sei hier erwähnt, daß der Mond bei den Alten Luna fallax hieß, weil er im Zunehmen ein D (decrescens), im Abnehmen ein C (crescens) darstellt, was aber nur für mittlere nördliche Breiten gilt: gegen den Äquator hin und in südlichen Parallelkreisen erfährt die Lage der Sichel gegen den Horizont solche Änderungen, daß jene Bezeichnungen nicht mehr passen, was zuerst Marco Polo auf seinen Reisen bemerkt haben soll, ohne damit wie mit anderen Entdeckungen Glauben zu finden.

Bei dieser Gelegenheit sei auch einer Frage gedacht, mit welcher sich in neuester Zeit mehrere Astronomen, namentlich J. Schmidt in Athen, beschäftigt haben, der Frage, wie bald nach dem Neumonde die Sichel wahrnehmbar werde. Die rituelle Bedeutung, welche die Erscheinung des neuen Mondes für die Juden durch den davon abhängenden kirchlichen Anfang ihrer Monate von je her hatte, bewog sie von den frühesten Zeiten an und bis sie Vertrauen in eigentlich astronomische Berechnungen zu setzen begannen, sich mit jener Frage zu befassen. Die Aufstellung einer aus solchen offenbar mehrhundertjährigen Beobachtungen abgeleiteten Formel, wohl eines der ältesten Beispiele induktiver Methode, war das lang verfolgte Ziel jüdischer Schriftgelehrter, deren Ergebnisse der große Philosoph Maimonides zusammenfaßte. So kommt es, daß diese aus dem 12. Jahrhunderte datierende Abhandlung immer noch die gründlichste Arbeit bildet, die wir über jenen Gegenstand besitzen. Dieselbe gilt aber. zunächst für Palästina, das durch örtliche Verhältnisse von den meisten europäischen Stationen wesentlich abweicht, und leidet selbverständlich an den Unvollkommenheiten, welche der damaligen Sternkunde anhafteten. Und doch bietet die Frage, besonders wenn dieselbe auch auf die Sichtbarkeit anderer Gestirne in der Dämmerung ausgedehnt würde, einerseits vielfaches Interesse, während die betreffenden Beobachtungen andererseits im Bereiche jedes Liebhabers der Wissenschaft liegen.

§ 102. (Ähnliche Erscheinungen der Erde für den Mond.) Es wird nicht notwendig sein, zu bemerken, daß die Phasen des Mondes und die gegebene, den Beobachtungen vollkommen genügende Erklärung derselben zugleich der beste Beweis für die oben aufgestellte Voraussetzung ist, daß der Mond die Gestalt einer Kugel habe und sein Licht von der Sonne erhalte. Da aber die Erde ebenfalls nur eine von der Sonne beleuchtete, dunkle Kugel ist, so muß sie den Bewohnern

des Mondes, wenn es solche giebt, ähnliche Lichtveränderungen zeigen, ja diese müssen dort noch viel auffallender erscheinen, da die Oberfläche der Erde über 13 mal größer ist als die des Mondes.

Wenn nämlich der Mond zur Zeit des Neumondes in A und uns unsichtbar ist, so erscheint ihm im Gegenteil die Erde T in ihrem ganzen Lichte als eine vollbeleuchtete Scheibe, weil hier die von der Sonne beschienene Hälfte der Erde ganz dem Monde zugekehrt ist. Die Mondbewohner auf dem der Erde zugewendeten Teile des Mondes sehen also die Erde ganz beleuchtet. Im Vollmonde aber, wenn der Mond in C ist, wendet die Erde ihre dunkle Seite dem Monde zu; die Bewohner des Mondes sehen deshalb ebensowenig wie wir den Mond zur Zeit des Neulichtes. Die Mondbewohner erblicken also die Erde im Vollichte, wenn wir Neumond haben, und im Neulichte, wenn wir Vollmond haben, und ebenso sehen sie die Erde im ersten oder letzten Viertel, wenn wir den Mond im letzten oder ersten Viertel sehen. Ist nämlich der Mond zur Zeit seines ersten Viertels in B, so sehen seine Bewohner von der Erde ebenso die linke oder östliche Hälfte beleuchtet, wie wir den Mond zur Zeit des letzten Viertels sehen, und umgekehrt.

Außer denselben Phasen, jedoch in einem viel größeren Maßstabe, als sie uns der Mond zeigt, werden aber die Seleniten, falls sie so gute Augen haben wie wir, auf der Oberfläche unserer Erde auch die Kontinente und Ozeane, sowie einzelne der größten Inseln und Binnenseen wahrnehmen können, da diese sich ohne Zweifel sowohl durch ihre Farben als auch durch die verschiedene Reflexion der Sonnenstrahlen von einander unterscheiden. So werden sie, wenn es bei uns Mittag und Neumond ist, Europa, Asien und Afrika als eine zusammenhängende hellere Masse erblicken, die auf allen Seiten von einer dunklen, ebenen Fläche, dem Meere, umgeben ist. Nach 12 unserer Stunden aber sehen sie auf der großen Erdscheibe beinahe die ganze Scene geändert. Denn nun ist die sogenannte alte Welt für sie verschwunden, und dafür liegt Amerika mit den vielen Inseln des Südmeeres vor ihren Blicken. Auf diese Weise haben die Bewohner des Mondes, und nicht bloß die Gelehrten unter ihnen, gewiß schon vor Jahrtausenden und zwar auf den ersten Blick manches gesehen, worüber unsere Geographen und Astronomen lange stritten. Amerika z. B. war ihnen lange vor Columbus und Australien lange vor Cook schon bekannt, und die bei uns so spät gelöste Frage von einer Durchfahrt am Nordpol oder von dem großen Lande am Südpol ist bei ihnen längst entschieden, da jedermann, der nur eben Augen hat, alle diese Dinge in jedem Monate beinahe 30 mal vor sich sieht. Die große Überschwemmung, von welcher wir nur noch dunkle Sagen haben, obschon sie vielleicht das ganze damals bekannte Menschengeschlecht getroffen hat, haben sie zweifellos eben so ruhig angesehen, als sie jetzt noch den Zug unserer Kriegsheere und das Gewühl unserer Schlachten betrachten, in denen sich unsere Brüder, oft ohne zu wissen warum, in einer Stunde zu Tausenden

morden. Eine Stadt wie Wien z. B., von 15 km im Durchmesser, würde, vom Monde gesehen, unter dem Winkel von 8″, also doppelt so groß wie uns Uranus erscheinen. Überhaupt sehen wir eine Linie von 1·82 km Länge auf der Oberfläche des Mondes, von der Erde betrachtet, unter dem Winkel von einer Sekunde, daher wir Gegenstände im Monde, die bloß unsern einzelnen Häusern, Feldern ꝛc. gleichen, noch nicht unterscheiden können. Der schöne, runde Fleck Plato im Monde, der 74 km im Durchmesser hat, wird schon mit einem Fernrohr von 10maliger Vergrößerung unter dem Winkel von 40″ sehr deutlich gesehen. Mit einer Vergrößerung von 300 erkennt man in einem lichtstarken Fernrohre schon Gegenstände im Monde sehr gut, die nur 3 km im Durchmesser haben und daher unter dem Winkel von $1^3/_4$″ erscheinen. Es scheint daher keinem Zweifel unterworfen, daß die Seleniten, wenn sie anders den unseren ähnliche Augen haben, unsere großen Städte, Flüsse u. dgl. sehen können, und daß sie vielleicht schon Karten unserer Erde besitzen, die im großen und ganzen sehr richtig sind.

§ 103. (Aschgraues Licht des Mondes.) Kurz vor und nach dem Neumonde, wo er nur als eine feine Sichel erscheint, sieht man mit guten Augen und noch besser durch Fernrohre auch den übrigen dunklen Teil des Mondes in einem matten Lichte schimmern, das immer schwächer wird, je näher er an seine Quadraturen kommt. Man nennt dieses Licht von seiner Farbe das aschgraue Licht (lumiére cendrèe) des Mondes, und hat die Ursache desselben lange gesucht, bis sie Leonardo da Vinci und später Mästlin, der Lehrer Kepler's, entdeckten. Zur Zeit des Neumondes ist nämlich dem Obigen zufolge die von der Sonne beleuchtete Hälfte der Erde völlig gegen die dunkle Seite des Mondes gekehrt, und da, wie bereits erwähnt, die Erde den Mond an Oberfläche nahezu 13 mal übertrifft, so wirft diese große, durchaus beleuchtete Scheibe der Erde eine so bedeutende Masse Licht auf die dunkle Seite des Mondes, daß uns die letztere dadurch sichtbar wird, sobald der Mond sich auf dem Nachthimmel zeigt und der Sonne nicht gar zu nahe steht. Dieses den Mond beleuchtende Erdenlicht erhalten wir demnach von ihm, wie man zu sagen pflegt, aus der dritten Hand, da es, ursprünglich aus der Sonne kommend, die Erde trifft, von dieser auf den Mond reflektiert und endlich wieder von dem Monde auf die Erde zurückgeworfen wird.

§ 104. (Kulminationshöhe des Sommer- und Winter-Vollmondes.) Es scheint hier auch der geeignetste Platz, einer besonderen Eigenheit der Erscheinung des Mondes für die Erde zu gedenken, die so einfach ist, daß sie bei einiger Aufmerksamkeit niemandem entgehen kann. Wenn die Bahn des Mondes genau in der Ebene der Ekliptik läge, so würde uns der Mond zur Zeit seiner Kulmination nie höher als die Sonne zu Mittag im Sommer, und nie tiefer als die Sonne zu Mittag im Winter erscheinen. Allein die Mondbahn ist gegen die Ekliptik um den Winkel von 5° 9′ geneigt, und die Knoten der Mondbahn gehen in nahe

19 Jahren ganz um die Erde herum ꝛc. (§ 100). Daraus folgt sofort, daß der höchste und tiefste Stand des Mondes im Meridian auch um 5° 9′ von dem höchsten und tiefsten Stand der Sonne im Mittag verschieden sein kann. Während nämlich die nördliche oder südliche Deklination der Sonne nie 23° 28′ übersteigt, kann die größte Deklination des Mondes bis auf 28° 37′ sich erheben und zu einer anderen Zeit wieder bis zu 18° 19′ herabgehen. Allein diese 5° sind es wohl nicht, die dem gemeinen Manne besonders auffallen werden, und er wird daher immerhin noch ferner annehmen können, daß die Bahnen des Mondes und der Sonne zusammenfallen. Das aber, was auch er schon öfter bemerkt hat, ist, daß der Mond zur Zeit seines Vollmondes im Winter immer sehr hoch und im Sommer immer sehr niedrig im Meridiane steht. Diese auf den ersten Blick sehr auffallende Erscheinung erklärt sich aber ganz leicht aus der einfachen Bemerkung, daß der Mond zur Zeit seines Vollichtes der Sonne immer gerade gegenüber steht, und daß er also im Winter, zur Zeit des Vollmondes, in demjenigen Teile der Ekliptik sich aufhält, den die Sonne im Sommer einnimmt, und da dieser Teil der Ekliptik am höchsten über dem Äquator steht, so muß auch der Mond zu jener Zeit sehr hoch über dem Äquator, also auch sehr hoch über unserm Horizonte stehen. Im Sommer aber findet zur Zeit des Vollmondes das Gegenteil statt. In Wien z. B. ist die größte Höhe der Sonne im Sommer 65° 16′ und die kleinste im Winter 18° 20′. Also wird auch die Höhe des Mondes zur Zeit seines Vollichtes im Winter auf 65° 16′ und im Sommer nur auf 18° 20′ steigen, ja wegen der oben erwähnten Neigung der Mondbahn gegen die Ekliptik kann die erste Höhe des Mondes im Winter sogar auf 70° 25′ sich erheben und die zweite im Sommer bis auf 13° 11′ herabsinken, und eine so große Differenz von mehr als 57° muß wohl auch dem unaufmerksamsten Beobachter endlich auffallen.

§ 105. (Axendrehung oder Rotation des Mondes.) Die oben (§ 100) angegebenen Revolutionen des Mondes um die Erde, welche wir auch Mondmonate heißen, könnte man, analog mit der Bewegung der Erde, auch die jährliche Bewegung des Mondes nennen, und dann die Rotation um seine eigene Axe, wie bei der Erde, die tägliche Bewegung des Mondes heißen.

Bei der Erde ist die jährliche Bewegung von der täglichen sehr verschieden, da jene rund 365mal länger dauert als diese. Nicht so ist es bei dem Monde, wo beide Bewegungen, die um die Erde und die tägliche um sich selbst, gleich sind.

Wenn man nämlich die, bekanntlich mit mehreren Flecken bedeckte, Oberfläche des Mondes etwas genauer betrachtet, so findet man, daß diese Flecke immer dieselbe Stelle der Mondesscheibe einnehmen, mit anderen Worten: daß uns der Mond immer dieselbe Seite zuwendet. In der That hat noch kein Menschenauge die andere Seite des Mondes gesehen, die von der Erde abgewendet ist und ewig von ihr abgewendet bleiben wird, gleichsam, als wenn die feste

Masse des Mondes durch eine Stange, die durch den Mittelpunkt der Erde und des Mondes geht, mit uns unveränderlich verbunden wäre und an dieser Stange in jedem Monate um uns herumgeführt würde.

Diese Sonderbarkeit in der Bewegung des Mondes hat zu einem langen und heftigen Streite unter den Gelehrten Anlaß gegeben. Newton war der erste, der jene Erscheinung durch die Worte ausdrückte: „Der Mond zeigt uns immer dieselbe Seite, also dreht er sich um seine Axe", während frühere Astronomen umgekehrt geschlossen hatten: „Der Mond zeigt uns immer dieselbe Seite, also dreht er sich nicht um seine Axe."

Ohne uns hier bei der Geschichte dieser Diskussionen länger aufzuhalten, wollen wir nur bemerken, daß die Sache in letzter Instanz sich mit einem Wortstreite endet, und daß man, je nachdem man das Wort Drehen in einem oder dem anderen Sinne nimmt, ebensogut sagen kann: der Mond drehe sich, als er drehe sich nicht, — etwa so, wie man von dem Tische, auf dem man schreibt, ganz mit demselben Rechte sagen kann, er habe eine und er habe keine Bewegung. Er hat keine, weil er seinen Ort gegen die nächsten Umgebungen, gegen die Wände des Zimmers nicht ändert, und er hat eine, weil er auf der Erde ist, die, wie Jeder weiß, sich um die Sonne und überdies noch um sich selbst bewegt, und mit der sich daher auch der Tisch bewegen muß.

Das Mißverständnis bei dem Monde kam daher, daß wir denselben von der Erde, also aus dem eigentlichen Mittelpunkte seiner Bewegung, betrachten. Denken wir uns aber ein Auge außer der Mondesbahn, z. B. in der Sonne S (Fig. 72), so wird dasselbe zur Zeit unseres Neumondes in A die uns immer verborgene Seite, zur Zeit des Vollmondes in C aber, zugleich mit uns, die uns immer sichtbare Seite des Mondes sehen, und für einen solchen Beobachter würde es daher keinem weiteren Zweifel unterliegen, daß der Mond sich in der That, und zwar in derselben Zeit um seine Axe dreht, in welcher er um die Erde geht, oder daß die Rotation desselben seiner Revolution, sein Jahr seinem Tage gleich ist.

§ 106. (Jahres- und Tageszeiten des Mondes.) Die auf einem Planeten herrschenden Jahreszeiten hängen, wie wir wissen (I, § 37), von dem Winkel ab, den sein Äquator mit der Ebene seiner Bahn bildet, oder wie wir es nennen, von der Schiefe der Ekliptik, und sind desto weniger von einander verschieden, je kleiner dieser Winkel ist. Nun ist die Bahn des Mondes, die er um die Erde beschreibt, gegen den Äquator dieses Satelliten nur um den kleinen Winkel von $6{\cdot}6^0$ geneigt. Zwischen beiden liegt die Ebene der Erdbahn oder der Ekliptik, so daß sie mit der Mondbahn einen Winkel von $5{\cdot}1^0$ bildet. Da aber die Durchschnittslinie der Mondbahn mit der Ekliptik oder die Knotenlinie derselben in 19 Jahren einen ganzen Umkreis um die Erde vollendet (§ 100), so wird dieselbe Hälfte der Bahn $9^1/_2$ Jahre über und $9^1/_2$ Jahre unter der Ekliptik liegen, so daß man im allgemeinen sagen kann, daß die Mondbahn mit der Ekliptik ganz zusammen-

falle und daher mit dem Mondäquator nur den sehr kleinen Winkel von 1·5° bilde. Aus dieser Ursache giebt es auf dem Monde beinahe gar keinen Unterschied der Jahreszeiten, indem die Bewohner des Mondes, so lange sie ihren Ort auf dessen Oberfläche nicht ändern, die Mittagssonne im Sommer wie im Winter immer sehr nahe in derselben Höhe über ihrem Horizonte bemerken, die Bewohner des Äquators in ihrem Scheitel und die Polbewohner immerwährend in ihrem Horizonte, so daß also gleichsam dort ein ewiger Sommer und hier ein ewiger Winter herrscht, während in den Zwischengegenden ein immer dauernder Frühling stattfindet. Auch sind die Tage auf dem Monde beinahe durchaus den Nächten an Länge gleich, nicht wie bei uns im Sommer länger und im Winter kürzer. Solche Orte wie unsere Polarländer, denen die Sonne im Sommer lange Zeit nicht unter- und im Winter nicht aufgeht, giebt es im Monde nicht.

Nicht minder wie die Jahreszeiten, sind auch die Tageszeiten des Mondes von denen der Erde verschieden. Wenn wir nämlich dem gewöhnlichen Sprachgebrauche gemäß, durch das Wort Tag die Zeit zwischen zwei nächsten Aufgängen der Sonne bezeichnen, so sind die Tage auf dem Monde unvergleichbar länger als die auf der Erde. Der Mondestag ist nämlich die Zeit von einem Neumonde zum andern oder $29^1/_2$ unserer Tage gleich. Für die Bewohner des Mondes steht also die Sonne durch $14^3/_4$ unserer Tage über und ebenso lange unter dem Horizonte, oder ihr Tag, im engeren Sinne des Wortes, dauert $14^3/_4$mal unserer 24 Stunden, und ebenso lang ist auch ihre Nacht.

Infolge der soeben geschilderten Verhältnisse bietet das Klima an verschiedenen Teilen der Oberfläche des Mondes noch weit grellere Kontraste dar, als das unserer Erde. Denn bei uns werden die näher bei den Polen liegenden Gegenden in ihrem Sommer beträchtlich erwärmt, wie auch die heiße Zone zur Zeit der Solstitien, wegen des schiefen Standes der Sonne, wieder etwas abgekühlt wird. Nicht so auf dem Monde, wo die den Polen näheren Orte die Sonne immerfort tief an ihrem Horizonte, und die dem Äquator nahen Orte sie immer in ihrem Scheitel sehen, wo also der Sommer sowohl als auch der Winter an bestimmte und unveränderliche Gegenden gebunden sind.

Da, wie eben erwähnt wurde, die Dauer eines Mondtages nahezu 15 unserer Tage beträgt, nahm man nach J. Herschel allgemein an, daß bei dieser langen Dauer der Bestrahlung mindestens die Äquatorialgegenden des Mondes weit über die Temperatur des siedenden Wassers, ja vielleicht sogar auf mehr als 200° C. erwärmt würden. Demgegenüber hat jedoch Langley durch sorgfältige, drei Jahre lang (1884—1887) fortgesetzte Untersuchungen nachgewiesen, daß die Erwärmung der Mondoberfläche durch die Sonne höchstens auf etwa 50° C. steigen könne, wahrscheinlich aber wesentlich geringer sei. Dabei hat er zugleich beobachtet, daß das Wärmespektrum der dunklen Seite des Mondes identisch sei mit dem des Himmels weitab von demselben, wodurch das schon von Earl Rosse gefundene Resultat bestätigt wurde, daß der Mond keine eigene Wärme mehr besitzt, und

seine Strahlung nur durch absorbierte Sonnenwärme bedingt ist. Des weiteren schätzt Langley die Menge der vom Monde reflektierten Wärme ein wenig größer als $^1/_7$ der ausgestrahlten, woraus folgt, daß von den Wärmestrahlen der Sonne, denen er allein seine Temperatur verdankt, nur ein sehr geringer Teil unmittelbar vom Monde reflektiert, daß im Gegenteil die meisten von seiner Oberfläche absorbiert werden. Trotzdem verhält sich nach Rosse die Wärme, welche uns vom Vollmonde zukommt, zu der Wärmekraft, welche die Sonne auf unserer Erde ausübt, nur wie 1 : 82600. Von einer sehr ähnlichen Größe schätzt auch Marié-Davy die Wärmestrahlung des Mondes.

Sehr interessante Beobachtungen hat Langley während der Mondfinsternis vom 23. September 1885 angestellt. Schon beim Herannahen des Halbschattens zeigten seine Instrumente eine erhebliche Abnahme der Wärmestrahlung, bevor das Auge noch eine Spur des Schattens bemerken konnte. Mit dem Fortrücken der Finsternis nahm die Wärme rasch ab, und stieg nach dem Ende der Totalität fast ebenso rasch wieder. Der Wechsel der Mondtemperatur war den Beobachtungen zufolge bereits innerhalb der wenigen Stunden der Dauer der Finsternis ein enormer, indem die Änderung der Temperatur die von unserer heißen Zone zur strengsten Kälte unseres arktischen Winters übertroffen haben muß. Wie tief mag da die Temperatur erst in seinen langen Nächten sinken!

§ 107. (Atmosphäre und Wasser auf dem Monde.) Die uns zugekehrte Seite des Mondes besitzt keine oder doch nur eine sehr dünne, niedrige Atmosphäre. Die Lichtgrenze desselben ist nämlich scharf abgeschnitten, und das hellste Licht der einen Seite geht unmittelbar in das tiefste Dunkel der anderen über: mit anderen Worten, wir bemerken auf dem Monde keine Spur einer Dämmerung, was jedenfalls eine das Licht beinahe ungeschwächt durchlassende, gar nicht reflektierende Atmosphäre voraussetzt. Dasselbe folgt auch aus den Bedeckungen der Fixsterne von dem Monde, die mit ganz ungetrübtem Glanze bis an dessen Rand hintreten und dann urplötzlich hinter demselben verschwinden, zum Zeichen, daß selbst die dem Monde nächsten und dichtesten Schichten seiner Atmosphäre, wenn sie überhaupt existiert, so durchsichtig sind, daß sie mit denen unserer Luft nicht weiter verglichen werden können. Allein nicht bloß sehr durchsichtig muß die Mondatmosphäre sein, sondern sie muß auch eine sehr geringe Dichte haben. Denn wäre dem nicht so, so müßte die beobachtete Dauer einer Sternbedeckung von der berechneten bedeutend abweichen durch die Refraktion, die das Licht des Sternes in der Mondatmosphäre erführe; eine solche Abweichung findet aber durchaus nicht statt. Man muß daher auch die öfters als Gegenbeweis angeführte Erscheinung, daß man zuweilen einen Stern vor die Mondscheibe treten sieht, ein paar Sekunden, bevor er hinter dem Monde verschwindet, auf andere Weise zu erklären suchen. Airy nimmt an, daß wir bei durch die Beobachtung gespannter Aufmerksamkeit uns einer Vergrößerung des dunkeln Mondrandes durch Irradiation bewußt werden. Einen weiteren Beweis für die Dünne der

Mondatmosphäre sieht Janssen auch darin, daß bei Sonnenfinsternissen die Granulation der Sonne am Mondrande keine Deformation zeigt. Übrigens hat die Ansicht von Arago und Decuppis, daß die Atmosphäre des Mondes eben nur sehr wenig hoch sei und an den meisten Punkten von dem eigentlichen Terrain überragt werde, in der neueren Zeit unter anderem auch durch Darwin einen beredten Vertreter gefunden.

Wo aber keine oder eine so äußerst dünne und durchsichtige Atmosphäre ist, läßt sich auch kein Wasser oder eine demselben ähnliche Flüssigkeit annehmen. Wenn der Erde ihre Luft entzogen würde, so würden die Flüsse und Meere derselben in kurzer Zeit verdunsten und die ganze Erde austrocknen. In der That können wir auch auf der Oberfläche des Mondes nichts bemerken, was diesen unseren irdischen Wasserbehältern ähnlich wäre. Die großen grauen Stellen des Mondes, die man mit dem Namen Meere belegt hat, sind voll kleiner Erhabenheiten und Vertiefungen und können durchaus nicht mit unsern Seen und Meeren verglichen werden.

Für den jetzigen Mangel an Flüssigkeit jeder Art aber spricht auch schon der bloße Anblick des Mondes, namentlich der Mangel jedes wolkenähnlichen Gebildes. Er erscheint uns wie ein trockner Gips- oder Schwefelguß mit unzähligen Blasen und Höhlungen, mit Bergen und Thälern bedeckt, die von großen und heftigen Erschütterungen zeugen, welche der Mond in der Vorzeit erlitten hat. Von den planierenden Wirkungen, die Verwitterungen, Stürme, Überflutungen auf unserer Erde äußern, ist dort kaum eine Spur zu finden. Trotzdem ist es nicht wahrscheinlich, daß dieser Himmelskörper immer ohne Atmosphäre gewesen ist. Die großen Revolutionen, die in der Vorzeit auf seiner Oberfläche stattgefunden haben, setzen die Wirkungen des Feuers, und dieses wieder die Luft voraus, ohne welche wenigstens unser Feuer nicht bestehen kann. Es ist daher nicht nur möglich, sondern sogar sehr wahrscheinlich, daß dieser Himmelskörper, dem es jetzt an Luft und Wasser wenigstens in unserm Sinne dieser Worte fehlt, vermöge seines so viel kleineren Volumens eine Periode der Abkühlung, zu der unsere Erde noch Äonen braucht, längst durchgemacht hat und nun nur noch ein trockenes, nacktes Felsengerippe ist, auf welchem vielleicht weder Vegetation, noch Leben, noch irgend eine Bewegung, sondern nur ewige Ruhe und Grabesstille herrscht; daß daher der Mond sich bereits überlebt hat und nun als unbrauchbare Schlacke aus der Reihe bewohnbarer Welten herausgetreten ist.

§ 108. (Wie auf dem Monde der Himmel erscheint.) Bei der zwar sehr langsamen, aber allgemeinen Umwälzung der Himmelskörper auf dem Monde giebt es doch einen, der an dieser Bewegung keinen Teil nimmt und in absoluter Ruhe am Himmel zu stehen scheint, und dieser Himmelskörper, scheinbar größer als alle übrigen, selbst viel größer als die Sonne, ist — unsere Erde. Da sich nämlich der Mond in derselben Zeit um die Erde bewegt, in welcher er sich um sich selbst dreht, und da der der Erde nächste Punkt seiner Oberfläche ihr

auch immer der nächste bleibt, so daß er gleichsam, wie schon oben (§ 105) gesagt wurde, durch eine feste Stange unveränderlich mit uns verbunden ist, so folgt daraus, daß die Seleniten, so lange sie nur selbst ihren Ort auf dem Monde nicht ändern, unsere Erde immer in derselben Entfernung von ihrem Zenithe ruhig am Himmel stehen sehen. Die in der Mitte der uns sichtbaren Scheibe wohnenden Mondbürger sehen die Erde immer in ihrem Scheitel; die am Rande dieser Scheibe wohnenden sehen sie ebenso immer in ihrem Horizonte, und die zwischen Rand und Mittelpunkt wohnenden endlich sehen die Erde das ganze Jahr durch stets in derselben, und zwar in einer um so größern Höhe über ihrem Horizonte, je näher sie selbst bei dem Mittelpunkte der uns sichtbaren Mondscheibe sich aufhalten. Sonne, Planeten und alle anderen Gestirne des Himmels gehen für den Mond alle 14 bis 15 unserer Tage einmal auf und unter, aber für die Erde findet weder Auf- noch Untergang statt. Die Erde erscheint ihnen 13mal größer als uns der Mond, und diese gewaltige Lichtscheibe steht für sie fest und unveränderlich am Himmel, während sich alle anderen Gestirne, selbst die Sonne, in $29^1/_2$ unserer Tage in Bezug auf diese Scheibe zu bewegen und täglich 13^0 sich von ihr gen West zu entfernen scheinen. Welch einen Anblick mag dies für die Bewohner des Mondes gewähren! Man kann nicht weiter zweifeln, daß die Gelehrten im Monde diese auffallende Erscheinung des Stillstandes eines alle anderen Gestirne an Größe so weit übertreffenden Himmelskörpers sehr scharfsinnig aus der dieser Größe selbst höchst angemessenen Trägheit ableiten. Und wer wird es den frommen Gemütern dieses Volkes verargen können, wenn sie dieses ungeheure Gestirn mit seinem auffallenden Lichtwechsel als den Abglanz der Gottheit verehren, die in ewiger Ruhe ihren festgegründeten Thron einnimmt, während alle andern Gestirne des Himmels in abgemessenen Bahnen ehrfurchtsvoll an ihr vorüberziehen!

Doch gilt dies erhabene Schauspiel nur denjenigen Mondbürgern, welche die vordere, gegen die Erde gewendete Hälfte des Mondes bewohnen. Die anderen wissen nichts davon, da sie ewig von der Erde abgewendet sind und dieselbe nie sehen können. Sie haben daher auch wohl keine Ahnung von den herrlichen Erscheinungen, welche ihre Nachbarn auf der andern Hälfte täglich und stündlich genießen, wenn sie nicht zuweilen von Reisenden, die aus jenen Gegenden zu ihnen kommen, davon Nachricht erhalten. Mit welchem Erstaunen mögen sie die Erzählungen derselben anhören, und mit welcher Andacht werden sie vielleicht in großen Karawanen ihre Wallfahrten nach den glücklichen Orten anstellen, wo ihnen der Anblick dieser Wunder des Himmels gegönnt ist!

Übrigens haben diese glücklichen Bewohner der Vorderseite des Mondes noch andere nicht geringe Vorteile vor ihren Nachbarn auf der andern Seite voraus. Wir haben nämlich (§ 102) gesehen, daß die Erde dem Monde ganz ebensolche Lichtabwechselungen zeigt wie der Mond uns, und daß die Bewohner des letztern die große Scheibe der erstern bald im Vollichte, bald in einem ihrer beiden

Viertel, bald wieder im Neulichte sehen. Diese vier Phasen der Erde werden ihnen ohne Zweifel ein sehr bequemes Mittel geben, ihre langen Tage einzuteilen, so wie wir den Abwechselungen des Mondes unsere Wochen und Monate verdanken. Nebst dieser Einteilung ihres Tages oder, was dasselbe ist, ihres Jahres in vier gleiche Teile werden ihnen die großen Flecken der Erde, die sich regelmäßig ihren Blicken zeigen und wieder entziehen, als Mittel zu Unterabteilungen jener Zeiten, als eine sehr genaue Uhr dienen. Außerdem genießen diejenigen, welche die vordere, uns sichtbare Seite des Mondes bewohnen, noch den Vorteil, daß ihre Nächte von der Erde, und zwar 13 mal stärker als die Erde vom Monde in der gleichen Phase beleuchtet werden. Man könnte daher eher sagen, daß es der Zweck der Erde sei, die langen Nächte der Bewohner der uns zugekehrten Seite des Mondes zu erleuchten, als umgekehrt, daß der Mond zur Beleuchtung der Nächte der Erde da sei, wie wenigstens in früheren Zeiten vielfach behauptet wurde. Wäre das letztere wirklich die Bestimmung des Mondes, so müßte er im Augenblicke seiner Entstehung im Vollmonde, oder der Sonne gegenüber gestanden haben, und seine Entfernung nahe den hundertsten Teil der Entfernung der Sonne von der Erde betragen. Dann würde nämlich der Mond immer im Vollmonde geblieben sein, und es würden uns nur die Finsternisse zuweilen seinen Anblick rauben. Da er aber jetzt kaum die Hälfte unserer Nächte erleuchtet, so dürfen wir ihn nicht bloß zum Fackelträger der Erde machen. Übrigens hätte dann seine Oberfläche 16 mal vergrößert werden müssen, damit er in jener, beinahe viermal größeren Distanz ebenso viel Licht als jetzt auf die Erde werfen könnte.

§ 109. (Vordere und hintere Seite des Mondes.) Die auffallende Erscheinung, daß der Mond sich genau in derselben Zeit um seine Achse dreht, in welcher er sich um die Erde bewegt, eine Erscheinung, die sich wahrscheinlich noch bei einigen anderen Satelliten des Sonnensystemes wiederholt, findet wohl ihr Erklärung in den sehr beträchtlichen Fluten, welche vor der Bildung der festen Rinde der Satelliten unter der Einwirkung der Massenanziehung des Hauptplaneten stattfanden, indem die Flutwellen die Rotationsbewegung kontinuierlich verzögerten, bis endlich eine Ausgleichung derselben mit der Revolution erfolgte. Die Höhe dieser Flutwellen, die natürlich beim Verlangsamen der Rotation schließlich zu einer Anschwellung des Äquators auf der dem Hauptplaneten zugekehrten Seite führen mußte, verbunden mit der durch die Rotation verursachten Abplattung, schätzt Matthiesen bei unserem Monde auf etwa 120 m, ähnlich wie J. Brenner, der dafür einen um eine Kleinigkeit geringeren Betrag angiebt.

Hansen, dessen treffliche Untersuchungen eine unserer besten heutigen Grundlagen für die Kenntnis der Bewegungen des Mondes bilden, hat aus einer sorgfältigen Diskussion der Beobachtungen den eigentümlichen Schluß gezogen, daß bei ihm der Mittelpunkt der Gestalt 59 km oder beiläufig 8 geographische Meilen näher an der Erde liege, als der Schwerpunkt. Daraus könnte sich eine

bedeutende Verschiedenheit zwischen der uns zugekehrten und der von uns abgewendeten Hemisphäre des Mondes in Bezug auf Niveau, Klima und andere Verhältnisse ergeben. Da nämlich die Schichten gleicher Dichte sich gleichförmig um den Schwerpunkt lagern müssen, so wird, wenn der Mond im allgemeinen die Gestalt einer Kugel hat, der Mittelpunkt der uns sichtbaren Hälfte des Mondes etwa 59 km über dem mittleren Niveau liegen, und nahe ebenso tief darunter das Zentrum der anderen Hälfte. Unter solchen Umständen dürfte es uns nicht wundern, wenn der Mond, von der Erde aus gesehen, als dürre Wüste erscheint, ohne Atmosphäre, ohne alle Zeichen von lebenden Tieren oder Pflanzen, auf der uns abgewendeten unsichtbaren Hälfte desselben hingegen eine Atmosphäre sowie ein reiches animalisches und vegetabilisches Leben sich vorfinden würde. Denn wenn es auf der Erde verhältnißmäßig ebenso hohe, also bis 216 km oder 29 geographische Meilen sich erhebende Berge gäbe, so wäre auf ihren Gipfeln von Atmosphäre und allem was damit zusammenhängt, auch keine Spur mehr zu finden. Obgleich nun, wie wir weiter unten sehen werden, auch photographische Untersuchungen von Gussew für Hansens Ansicht zu sprechen scheinen, hat Newcomb doch so gewichtige Einwendungen dagegen erhoben, daß man jene Gestalt des Mondes einstweilen für sehr fraglich halten muß.

§ 110. (Einflüsse des Mondes auf die Erde.) Von wichtigen Einwirkungen, die der Mond im Vereine mit der Sonne auf unseren Wohnort ausübt, von Ebbe und Flut u. a., werden wir weiter unten (III. Abt. Kap. III) sprechen. Was die übrigen Einflüsse desselben betrifft, über die man von je her und schon seit Aristoteles viel gefabelt, so sind dieselben großenteils noch unbewiesen, jedenfalls so unbedeutend, daß sie im gemeinen Leben so gut wie keine Beachtung verdienen. So geben die Untersuchungen von Schübler, Mädler, Eisenlohr u. a. eine leise Andeutung von Einflüssen des Mondes auf unsere Witterung je nach seinen Phasen und Entfernungen von der Erde. J. Herschel, Johnson, Nasmyth, Harrison u. a sprechen sich nach ihren Erfahrungen für die ziemlich verbreitete Meinung aus, daß der Vollmond eine gewisse Wolken zerteilende Kraft habe. Barendell hingegen zog aus der Diskussion der meteorologischen Beobachtungen mehrer englicher Stationen den Schluß, daß die Tage um Vollmond kälter seien als die um Neumond, und fand im weiteren Verlaufe dieses Resultates als Ursache hiervon, daß um Vollmond nördliche, um Neumond aber südliche Luftströmungen vorherrschen. Von verschiedenen Seiten wird auch behauptet, daß die Zahl der Erdbeben zu den Zeiten des Neu- und Vollmondes größer sei, als zu den übrigen: doch sind alle diese und ähnliche Einflüsse, wie gesagt so gering, daß sie, wenn sie ja bestehen, in den viel mächtigeren örtlichen und anderen kosmischen Ursachen, die unsere terrestrischen Verhältnisse bestimmen, so zu sagen aufgehen.

§ 111. (Betrachtungen über eine Reise in den Mond.) Die physische Beschaffenheit der Oberfläche unseres Mondes würden wir selbstverständlich am besten kennen lernen, wenn es uns gegönnt wäre, eine Reise in den Mond zu machen

und ihn in der Nähe zu untersuchen. Da aber bisher noch niemand eine solche Reise unternommen hat, so wollen wir zuerst zusehen, welche Hoffnungen wir haben, daß wenigstens in der Zukunft ein Unternehmen dieser Art von irgend einem unter uns glücklich ausgeführt werde.

Erstens ist es etwas weit von uns bis zu dem Monde, obschon er unter allen Himmelskörpern uns am nächsten steht, und wer sich nicht einer besondern Geduld und Ausdauer bewußt ist, wird besser thun, zu Hause zu bleiben. Seine mittlere Entfernung von uns beträgt 384 500 km. Unsere Dampf-Eilwagen können in jeder Stunde 70 km zurücklegen, sie würden also erst in 229 Tagen, den Tag zu 24 Stunden genommen, dort ankommen. Mit unseren Postwagen, die täglich höchstens 200 km zurücklegen, würde man den Mond erst in 5·3 Jahren erreichen, und diese Zeit wird doch wohl manchem Reisenden etwas zu lang dünken. Weil aber, wo keine feste Straße ist, auch kein Wagen gebraucht werden kann, so müßten wir uns schon bequemen, zu Schiffen und zwar zu Luftschiffen unsere Zuflucht zu nehmen. Wenn uns dann das Glück so gut wollte, daß wir immer mit frischem Winde segeln könnten, der in einer Sekunde etwa 5 m zurücklegt, so würden wir zu unserer Reise 2·5 Jahre brauchen; eine noch immer viel zu lange Zeit für alle die, welche sich, der andern Unfälle, die auf solchen Reisen begegnen könnten, nicht zu erwähnen, vor dem größten aller Übel, vor der Langenweile, fürchten, die dort kaum ausbleiben wird, wo rechts und links von der Straße — gar nichts ist, was die Aufmerksamkeit des Reisenden auch nur einen Augenblick auf sich ziehen könnte. Durch Stürme allerdings könnte diese Reise nicht wenig befördert werden. Unsere Orkane legen in einer Sekunde gegen 20 m, ja wohl 30 m zurück. Auf den Flügeln eines solchen Sturmwindes würde man also schon in 220 bis 150 Tagen an Ort und Stelle ankommen, aber — wie ankommen! Wer mag es wagen, sich einem solchen Geleitsmanne anzuvertrauen! — Zwar gäbe es noch andere und wohl auch sehr expeditive Mittel, diese Reise in noch viel kürzerer Zeit zu vollenden. Das Licht z. B., das in $8^m\ 18^s$ von der Sonne bis zu uns kommt, würde von uns bis zum Mond schon in $1{\cdot}4^s$, also, wie wir sagen können, in einem Augenblicke kommen. Aber dergleichen Fahrzeuge sind nicht für uns eingerichtet, die wir nicht bestimmt sind, auf Sonnenstrahlen zu reiten.

Wir müssen also doch wohl wieder zu unseren Luftschiffen zurückkehren. Aber auch hier werden sich bald noch andere Hindernisse zeigen. Unsere Aëronauten haben bekanntlich noch immer kein Mittel gefunden, ihr Schiff im konträren Winde zu leiten und einer sicheren Direktion zu unterwerfen. Wie leicht ist es dann möglich, daß uns die Herren, statt nach dem Monde, in das große uferlose Weltenmeer hinausführen, unde negant redire quemquam, in jenen grenzenlosen Raum, in welchem wir nicht nur den Mond nie erreichen, sondern am Ende selbst noch unsere Erde aus dem Gesichte verlieren würden!

Ja selbst, wenn diese Direktion in der Macht unserer Führer stände, welche

Richtung sollen sie nehmen, um sicher auf dem Monde anzukommen? Ich fürchte, die Herren würden sehr in Verlegenheit kommen, wenn sie diese Frage beantworten und den Kompaß vorzeigen sollten, der ihnen den wahren Weg zum Ziele zeigen wird. Ihr Abfahrtspunkt, die Erde, ist bekanntlich ebenso beweglich wie das Ufer, dem sie entgegensteuern sollen. Jene, die Erde, legt in jedem Tage über 2·5 Millionen km um die Sonne zurück, fliegt also mit einer Geschwindigkeit durch den Himmelsraum, die mit der unserer Kanonenkugeln nicht weiter verglichen werden kann; und dieser, der Mond begleitet sie auf ihrem Wege, indem er stets in großen Schlangenlinien um sie tanzt, die in vielen tausend Jahren nicht wieder in sich selbst zurückkehren.

Womit sollen wir überdies unsere Aërostaten füllen? — Mit irgend einer Luftart ohne Zweifel, die dünner und leichter ist als die, in der wir segeln wollen. Allein unsere atmosphärische Luft ist in der Höhe von etwa 30 km über der Oberfläche der Erde schon so dünn, daß der sogenannte leere Raum unter unsern Luftpumpen dagegen als sehr dicht angesehen werden kann, und weiter hinauf hat alle Luft, also auch alles Schiffen in der Luft ganz und gar ein Ende. Wir würden daher, nur um uns von der Erde zu erheben, auf eine Kraft denken müssen, die uns von der Erde so stark abstößt, daß wir, wie eine aus der Mündung der Kanone tretende Kugel, durch diesen Stoß bis zu dem Mond geschleudert werden. Diese Kraft müßte, wie man durch Rechnung zeigen kann, so groß sein, daß sie unser Schiff in der ersten Sekunde seiner Abfahrt von der Erde durch 300 km treiben könnte. Eine so entsetzliche Geschwindigkeit, welche die einer Kanonenkugel im Anfange ihres Laufes vielfach übertrifft, müßte uns ohne Zweifel gleich in dem ersten Augenblicke durch die Gewalt des Stoßes selbst zertrümmern. Damit sind aber die Schwierigkeiten noch keineswegs erschöpft. Denn vermöge der Attraktion des Mondes wird unser Luftschiff, wenn es demselben einmal nahe genug gekommen ist, nun recht eigentlich zu ihm hinabfallen, ja mit einer solchen Heftigkeit hinabstürzen, daß das ganze Fahrzeug und wir mit ihm nur völlig zertrümmert daselbst ankommen können, wodurch daher, selbst wenn alles Vorhergehende auf das glücklichste abgelaufen wäre, der ganze Zweck der Expedition doch wieder verloren gehen müßte.

Wie wird es dann überdies mit unsern Lungen stehen in den Gegenden, wo keine Luft mehr ist? Sollen wir uns einen Vorrat davon in Schläuchen mitnehmen? Sie werden keinen kleinen Raum einnehmen, da wir alle die Zeit unserer Reise davon zehren sollen. Und wenn wir endlich auf dem Monde ankommen und unsern Vorrat erschöpft finden, sind wir nicht wieder, wo wir früher waren? Denn unglücklicherweise ist auch auf dem Monde selbst keine Luft, wenigstens gewiß keine solche, die der menschlichen Lunge angemessen wäre.

Man sieht aus allem Vorhergehenden hoffentlich zur Genüge, daß es besser sein wird, uns noch ein Weilchen hier unten zu begnügen und aus dem Thal der Thränen, das wir bewohnen, jene Gefilde der Freude mit sehnsuchtsvollen

Augen oder, was noch besser sein möchte, ganz harmlos, aber dafür mit guten Fernrohren anzuschauen. Übrigens wird uns allerdings der Umstand, daß wir uns immer in einer artigen Entfernung von dem Monde halten müssen, wohl manche einzelne Merkwürdigkeit desselben verbergen, und wir dürfen nicht hoffen, die Oberfläche desselben so gut kennen zu lernen, als dies wohl geschähe, wenn wir auf ihr herumgehen und jeden einzelnen Teil derselben mit dem Mikroskope untersuchen könnten. Aber derselbe Umstand hat auch wieder, wie alle Dinge in dieser Welt, seine gute und sehr schätzenswerte Seite. Wegen dieser Entfernung lernen wir den Mond im großen viel besser kennen, als wir ihn in einer größeren Nähe wahrnehmen würden, und wir sehen vielleicht manches von den Eigenschaften desselben auf den ersten Blick, von dem die Leute im Monde, wenn sie anders existieren, selbst nichts wissen.

§ 112. (Anblick des Mondes.) Mit unbewaffnetem Auge gesehen, erscheint uns der Mond als eine runde Scheibe, mit mehreren grauen Flecken bedeckt: allein die Abwechselung seiner Lichtgestalten (§ 101) und die Abhängigkeit derselben von seiner Stellung gegen die Sonne zeigt uns sehr bald, daß er keine Scheibe, sondern eine Kugel ist, die kein eigenes Licht hat, sondern dasselbe nur von der Sonne geborgt erhält. Auch sieht man bald, daß die Oberfläche dieser Kugel nicht so glatt wie die eines konveren Spiegels sein kann, weil sie sonst das Bild der Sonne nur von einem einzigen Punkte dieser Kugel zu uns zurückwerfen könnte, wir also dann den Mond nur wie einen kleinen lichten Stern, aber nicht wie eine große beleuchtete Scheibe sehen würden. Die Oberfläche des Mondes muß demnach *rauh* und vielleicht mit einer großen Menge von Unebenheiten, von Bergen und Thälern bedeckt sein, von welchen jeder Teil für sich als ein kleiner Spiegel betrachtet werden muß, der sein Licht nach irgend einer Seite hin versendet.

Die grauen Flecke, die wir auf dem Monde bemerken, sind *Thäler* und die helleren gebirgige Gegenden, wie uns schon der erste Blick lehrt, den wir durch ein Fernrohr auf denselben werfen, durch die Schatten, die wir sofort an den letzteren Partien bemerken. Diese Schatten stehen nämlich immer auf der der Sonne gegenüberliegenden Seite, und sind desto länger, je höher entweder diese Berge selbst sind, oder je tiefer für sie die Sonne an dem Horizonte derselben steht, wie dies sehr schön Taf. VIII zeigt, welche die Beleuchtungsgrenze der Nordhalbkugel des Mondes im Ersten Viertel nach einer 15fach vergrößerten Photographie der Brüder Henry darstellt. An der Lichtgrenze, wo die helle Phase des Mondes sich von der dunkeln scheidet, liegen alle die Orte, denen die Sonne eben auf- oder untergeht, und eben hier sind auch die Schatten, welche die Gipfel der Berge, sowie diejenigen, welche die hohen Wälle der Thäler in ihre Höhlungen werfen, durchaus die längsten. Im Gegenteile werden diese Schatten für alle Orte immer kürzer, je tiefer sie in der Lichtseite liegen, weil für sie der Tag schon längst angefangen und die Sonne schon eine größere Höhe

über ihrem Horizonte erreicht hat. Zur Zeit des Vollmondes, wo die Bewohner der Mitte der jetzt ganz beleuchteten Scheibe eben Mittag und daher die Sonne in ihrem Zenithe haben, bemerkt man von diesen Schatten beinahe keine Spur mehr, so wenig, als man sie in unserer heißen Zone in dem Mittage desjenigen Tages bemerkt, an welchem die Sonne in dem Scheitel dieser Gegenden steht. Aus dieser Ursache ist auch die beste Zeit der Beobachtung, die Zeit, wo man den Mond in seinem günstigsten und auffallendsten Lichte sieht, keineswegs der Vollmond, sondern vielmehr die Zeit kurz vor und nach dem Neumonde, wo er nur als ein feiner Silberfaden oder als eine schmale Sichel am Himmel steht und wo die Schatten seiner Berge und Schluchten am deutlichsten und grellsten erscheinen. Über die Benennungen dieser Berge und Thäler, wie sie von verschiedenen Astronomen vorgeschlagen wurden, haben wir bereits oben (§ 48) einige Nachrichten mitgeteilt. Für das nun folgende ersuchen wir die Leser, die Mondkarte (Taf. VII) aufzuschlagen, welche, weil eine Vergleichung des Mondes mit einer solchen Karte in der Regel durch ein Fernrohr, mit einem sogenannten astronomischen, die Gegenstände umgekehrt zeigenden Okulare vorgenommen wird, den Mond schon in dieser verkehrten Lage darstellt; für die Betrachtung mit freiem Auge oder mit einem terrestrischen Okulare hat man also unsere Karte umzudrehen. Die Bezifferung der Flecken beginnt in jedem Quadranten von vorn und schreitet zwischen je 10° der selenographischen Breite von links nach rechts fort.

§ 113. (Gebirgsketten, Rillen, Lichtstreifen ꝛc. des Mondes.) Die Unebenheiten des Mondes sind wie die der Erde verschiedener Art. Zusammenhängende Bergketten, wie bei uns der Himalaja, die Anden, Alpen u. s. w. kommen auf dem Monde nur selten vor: die mächtigsten sind die Apenninen, welche auf der Karte aus dem nordwestlichen in den nordöstlichen Quadranten hinüberziehen, und die nördlich und südlich an dieselben sich anschließenden Alpen und Karpathen.

Die Gebirgsketten des Mondes laufen aber nicht wie die Gebirge der Erde in verschiedene Äste aus, sondern stehen als große Massen beisammen: die Thäler sind meist kraterförmig, die Gipfel gewöhnlich spitz zulaufend, selten rund gewölbt. Die Bergketten des Mondes unterscheiden sich daher von den irdischen Massengebirgen durch den Mangel längerer Seitenthäler, welche namentlich unseren Alpen einen so lieblichen Reiz gewähren, und stürzen nicht selten mehrere tausend Meter unglaublich schroff und steil ab, wie man beispielsweise auf Tafel VIII aus dem Schattenwurfe der Apenninen sofort erkennt.

Einzelne Berge steigen zu wahrhaft ungeheueren, schon von Galilei ziemlich richtig geschätzten Höhen empor. Der Chimborasso, der früher als der höchste Berg der Erde angegeben wurde, hat eine Höhe von 6400 m über der Meeresfläche und beträgt daher nur den 990sten Teil des Erdhalbmessers. Der Mount Everest im Himalaja-Gebirge, der jetzt als höchster Berg der Erde gilt, erhebt sich auf 8850 m oder auf den 720sten Teil des Erdhalbmessers. Ein Globus, auf welchem der letzte Berg in der Höhe eines Centimeters erscheinen sollte,

müßte daher $14^1/_5$ m im Durchmesser haben. Aber schon Mädler hat Berge auf dem Monde gefunden, deren Höhe über 5500 m steigt, und J. F. Schmidt sogar einen, dessen Höhe 8850 m, also die des Mount Everest erreicht. Diese Berge betragen daher, da der Mond nur einen Halbmesser von 1740 km besitzt, im Verhältnisse zu diesem Halbmesser den 315ten und 200sten Teil desselben, oder mit anderen Worten: die Berge des Mondes sind verhältnismäßig zu seiner Größe weit höher als die Berge der Erde. Dabei ist noch zu erwähnen, daß die Höhen der Mondberge als Erhebungen über die nächste Umgebung des Berges zu verstehen sind, da hier von einem gemeinschaftlichen Niveau wie unsere Meeresfläche nicht die Rede sein kann. Würde man auch auf der Erde die Berghöhen so angeben, so würden sie im allgemeinen erheblich kleiner werden, und nur die Höhe einiger, die steil aus dem Meere emporsteigen, wie der Pik von Teneriffa, durch Zählen vom Meeresgrunde an gewinnen.

Der Umstand, daß die Höhen der Mondberge nur als Erhöhungen über das benachbarte Land angegeben werden können, hat übrigens noch die weitere Folge, daß wenn das umliegende Land nicht eben, sondern selbst gebirgig ist, die aus dem Schattenwurfe erschlossene Höhe des Berges, wie leicht ersichtlich, von der Höhe der Sonne über der betreffenden Gegend abhängen wird. Wir fügen daher in der folgenden kleinen Tabelle, in welcher wir die Höhen einiger der höchsten Mondberge nach den Messungen von Schmidt zusammenstellen, auch die Sonnenhöhe bei, bei welcher die Messung vorgenommen wurde.

	Sonnenhöhe	Berghöhe
Curtius	$11^{0}{\cdot}3$	8850 m
Newton	8·5	6910 m
Casatus	7·6	6510 m
Inghirami	11·3	6230 m
Tycho	7·2	6140 m
Callippus	5·0	5800 m
Kircher	10·3	5700 m
Bouſſingault	7·4	5480 m
Hochgipfel am Sinus Iridum .	6·5	4390 m
Hochgipfel der Alpen (Montblanc)	5·0	4260 m

Im ganzen kennen wir hauptsächlich durch Messungen von J. F. Schmidt jetzt schon mehr als 100 Berge am Monde, deren Höhe 3500 m (10 000 Par. Fuß) übersteigt.

Wir werden weiter unten sehen, daß die Masse des Mondes nahe den 80sten Teil der Erdmasse beträgt, und daß die Körper auf der Oberfläche desselben in der ersten Sekunde nur durch 0·93 m, also nahe 5mal weniger tief fallen als auf der Erde, daß also auch die Schwere oder die Kraft, mit welcher der Mond alle Körper auf seiner Oberfläche an sich zieht, nur den fünften Teil von der Schwere der Erde beträgt. Daraus folgt, daß unsere Explosivstoffe

z. B. Schießpulver, auf den Mond gebracht, daselbst viel größere Schußweiten als bei uns erzeugen würden. Auf der Erde würde eine Kanonenkugel, die mit einer anfänglichen Geschwindigkeit von 300 m in einer Sekunde senkrecht in die Höhe geschossen wird, etwa 29^s steigen, wenn man den Widerstand der Luft außer acht läßt, und eine Höhe von 4600 m erreichen, ehe sie anfängt wieder zur Erde zurückzukehren. Auf dem Monde aber würde sie, unter derselben Voraussetzung, mit derselben anfänglichen Geschwindigkeit durch volle 161^s aufsteigen, und eine Höhe von 24 200 m erreichen. Wenn daher im Innern des Mondes ebensolche Kräfte, elastische Dämpfe u. dergl. wirken wie in der Erde, und wenn die Kohäsionskräfte der Körper dieser beiden Gestirne nahe dieselben sind, so werden diese Kräfte dort viel größere Wirkungen hervorbringen, wo die gegenwirkende Kraft der Schwere so viel kleiner ist, und jene hohen Gebirge sind vielleicht eine unmittelbare Folge dieser Verhältnisse.

Außer den eben besprochenen Gebirgszügen findet man auf dem Monde stellenweise auch einzelne Bergkegel zerstreut, die sich isoliert und schroff aus der sie umgebenden Ebene erheben. Sehr interessante und eigentümliche Bildungen auf dem Monde sind aber die sogenannten Rillen, nämlich fast geradlinige Furchen, die bei geringer Breite und Tiefe oft viele Kilometer weit fortlaufen, zuweilen an mehreren Stellen mit kraterähnlichen Gruben oder Einsenkungen versehen sind, und nicht selten mehrere Ringgebirge zu verbinden scheinen.

Die auffälligste dieser Rillen findet sich beiläufig in der Mitte der Mondscheibe bei Higinus: die übrigen sind im allgemeinen schwer und stets nur kurze Zeit hindurch bei günstiger Beleuchtung durch die Sonne zu sehen; die meisten derselben sind daher erst in neuerer Zeit, und zwar hauptsächlich durch J. F. Schmidt bei Gelegenheit der Verfertigung seiner schönen Mondkarte aufgefunden worden. Man kennt so jetzt etwa 350 dieser merkwürdigen Gebilde, welche man in früheren Zeiten für von den Mondbewohnern angelegte Straßen, Kanäle oder dergleichen zu halten geneigt war. Prof. Sueß glaubt, daß die Rillen vulkanischen Ursprunges seien, indem an den Abhängen großer Vulkane, wie des Ätna nicht selten eine radiale Spalte sich öffnet, und auf derselben während des Ausfließens der Lava einzelne sogenannte Adventivkrater gebildet werden. Ein ähnliches System solcher Spalten zieht nach Thoroddsen's Untersuchungen quer durch ganz Island; die größte dieser Spalten, welche den Berg Laki durchschneidet, kann auf etwa 30 km verfolgt werden und trägt gegen 30 der obengenannten Adventivkrater.

Sehr merkwürdig sind weiter breite Lichtstreifen, welche man um einige der größeren Ringgebirge strahlenförmig angeordnet findet und deshalb als Strahlensysteme bezeichnet. Das auffallendste Beispiel bietet Tycho, dessen Strahlensystem über ein Viertel der Mondscheibe erfüllt. Diese Streifen werden desto sichtbarer, je höher die Sonne über ihnen steht, weil sie dann weniger von den Schatten der Berge, über welche sie hinwegziehen, durchbrochen werden, und

sich auch durch ihre größere Helligkeit deutlicher von ihrer Umgebung abheben. Erhöhungen sind es nicht, weil sie, auch bei sehr schiefer Beleuchtung, nie Schatten zeigen. Schwabe glaubt an ihnen zeitweise eine grüne Färbung bemerkt zu haben, und sieht darin Spuren von Vegetation.

Mädler hält die Lichtstreifen für Veränderungen der Mondoberfläche, bewirkt durch Strömungen von Gas und anderen Substanzen, welche einst den großen Essen der Ringgebirge von allen Seiten zuzogen; Schäberle hingegen hält sie für Ablagerungen von vulkanischem Dampf. In ähnlicher Weise denkt sich auch Prof. Sueß deren Entstehen. Wie nämlich auf der Erde als eine Nachwirkung vulkanischer Thätigkeit Fumarolen auftreten, so sei derselben auch auf dem Monde eine ausgebreitete Fumarolenthätigkeit gefolgt, wobei sich feinere Klüfte strahlenförmig um einzelne Krater bildeten. Auf diesen habe nun bergauf und bergab die Exhalation saurer Dämpfe, die Bildung der gewöhnlichen Sublimate der Fumarolen, und vor allem wie auf der Erde weithin eine Entfärbung und Bleichung der von den Dämpfen berührten Felsarten stattgefunden. In ähnlicher Weise hält Sueß einige besonders leuchtende Flecken, sowie den hellstrahlenden Kegel von Aristarch für Ablagerungen von Nebenprodukten von Fumarolen, nämlich weißen Bimsstein und blendend weiße Aschen.

Endlich müssen wir noch der großen, meist grau gefärbten Flecken gedenken, in welchen sich nur geringe Unebenheiten finden, und die man mit dem Namen Meere bezeichnet hat, wie das Mare nubium, imbrium, nectaris u. s. w.

§ 114. (Ringgebirge des Mondes.) Weit zahlreicher als alle bisher genannten treten aber auf dem Monde Bildungen auf, die man als Ringgebirge bezeichnet: nämlich regelmäßige, runde Thäler, die rings mit einem hohen Walle umgeben sind, oft viele Quadratkilometer große Flächen einschließen, und in ihrer Mitte häufig einen, zuweilen auch mehrere isolierte kegelförmige Berge haben. Sowohl auf der Mondkarte, noch deutlicher aber auf Taf. VIII erkennt man sofort zahlreiche solcher Ringgebirge. Sie können, so wie die Vulkane unserer Erde, wohl nur durch innere hebende Kräfte und Revolutionen heftigster Art erzeugt worden sein. Der eigentliche Kern des Kopernikus ist ein solches Ringgebirge, dessen Inneres ganz das Aussehen eines Kraters hat, und dieser nun schon vielleicht seit Jahrtausenden erstarrte Schlund hat 90 km im Durchmesser, während der Krater des Ätna in Sizilien wenig mehr als ein Kilometer im Durchmesser hat. Die Flächen und Thäler, welche diese Ringgebirge einschließen, haben öfter eine Ausdehnung von 10 bis 15 000 qkm. Die von den Wallgebirgen eingeschlossenen Räume sind als Einsenkungen, als leere, trockene Kraterbecken zu betrachten, die weiter keine Ähnlichkeit mit unseren von Bergrücken eingeschlossenen Ländern, wie z. B. Böhmen u. dgl. haben, und deren Tiefe nach Mädler's und Schmidt's Messungen oft bis zu 7000 und mehr Meter geht, die also zuweilen so tief sind, als unser Chimborasso hoch ist. Einen solchen Krater findet man z. B. bei Cleomedes an der Nordseite des Mare crisium, nahe an dem westlichen

Rande der Karte; er hat 130 km in seinem obersten Durchmesser und über 3000 m Tiefe. Welch ein Anblick für ein menschliches Auge, in einen Kessel von solchem Durchmesser und dieser Tiefe hinabzuschauen! Und doch gehört Cleomedes keineswegs zu den tiefsten Ringgebirgen; Mädler und Schmidt fanden für die Tiefe von Harpalus 5000 m, während er sich auf seiner Außenseite nur 800 m über das Mare frigoris erhebt. Bei Kopernikus findet Secchi hingegen den Boden des Kraters gegen 1000 m höher als die umgebende Ebene. Die Zentralberge in den Kratern erreichen oft sehr bedeutende Höhen, so im Moretus 2000 m u. s. w. Übrigens zeigt das Innere dieser ungeheuren Höhlungen, mit starken Fernrohren betrachtet, beiläufig den Charakter, wie man ihn bei unserm Vesuv, Ätna, Pik von Teneriffa oder in anderen vulkanischen Gegenden, namentlich in der Auvergne, am Krater Kilauea auf Hawaii u. s. w. sieht, wie schon 1846 J. Dana hervorhob.

Solcher Ringgebirge nimmt man am Monde schon mit einem mäßigen Fernrohre nach Mädler gegen 2000 wahr. Die Zahl derselben steigt aber mit der Vergrößerung der optischen Hilfsmittel ungemein rasch, wie wohl am besten daraus ersichtlich ist, daß Schmidt auf seiner Mondkarte, die der Hauptsache nach mit einem Fernrohre von 16 cm Öffnung, allerdings unter Attikas klarem Himmel aufgenommen wurde, bereits 32 856 solche Gebilde verzeichnet. Eine besonders starke Anhäufung derselben findet um den Südpol statt, was demselben, namentlich in dem ersten Teile der Lunation, ein ganz eigenartiges Aussehen verleiht.

§ 115. (Messung der Höhe der Mondberge.) Ehe wir die sonderbaren Berge des Mondes gänzlich verlassen, wird es den Lesern nicht unangenehm sein, zu erfahren, auf welche Weise man die Höhe derselben gemessen hat.

Wenn diese Berge genau an dem Rande der uns sichtbaren Mondscheibe stehen, so wird man mit dem gewöhnlichen Instrumente, mit welchem die Astronomen überhaupt alle sehr kleinen Distanzen messen, mit dem sogenannten Mikrometer, auch das Verhältnis ihrer Höhe zu dem Halbmesser des Mondes bestimmen können. Gesetzt, man hätte eine solche Erhöhung oder auch bei den Thälern des Mondes eine solche Vertiefung, einen Einschnitt des Mondrandes, gleich dem zweihundertsten Teil des Halbmessers desselben gefunden, so weiß man auch sofort, daß die Höhe oder Tiefe desselben 8·7 km beträgt, weil der Halbmesser des Mondes 174 km hat. In der That sieht man diesen Rand des Mondes nicht ganz glatt, sondern an mehreren Stellen wie ausgezackt, was nur von diesen Bergen oder Schluchten kommt. Wir werden weiter unten sehen, daß der Mond nicht ganz genau immer dieselbe Seite der Erde zuwendet, sondern daß der Rand der uns sichtbaren Scheibe sich öfter um nahe 8°, aus dem Mittelpunkte des Mondes gesehen, verschieben kann, daher zuweilen Berge oder Thäler in diesen Rand treten, die früher nicht sichtbar waren. Besonders gut anwendbar wird diese Methode zur Zeit der Sonnenfinsternisse sein, wo die

schwarze Scheibe des Mondes mit ihren Zacken auf dem hellen Hintergrunde der Sonne sehr gut gesehen und mit aller Schärfe gemessen werden kann.

Ein zweites Mittel, die Höhe der Berge zu messen, erstreckt sich auf alle uns sichtbaren Orte des Mondes, nicht bloß auf die Punkte, welche in dem Rande desselben liegen. Wer den Mond auch nur mit einem mäßigen Fernrohre angesehen hat, wird bemerkt haben, daß man nahe an der Lichtgrenze, die meistens, eben ihrer Berge wegen, sehr ausgezackt und unregelmäßig erscheint, in dem dunkeln Teile des Mondes viele isolierte, hellglänzende Punkte sieht, die gleich den Inseln auf dem Meere oder gleich den Thautropfen auf den von der Sonne beschienenen Blumen hervortreten. Man überzeugt sich bald, daß diese lichten Punkte Berggipfel sind, die von der aufgehenden Sonne beschienen werden zu einer Zeit, wo der Fuß dieser Berge noch in dem Schatten der Nacht ruht, wie wir dies auch auf unserer Erde kurz vor dem Aufgange oder bald nach dem Untergange der Sonne bemerken. Man sieht aber leicht, daß diese Berge desto höher sein werden, je weiter ihre von der Sonne vergoldeten Gipfel von der Lichtgrenze entfernt oder je tiefer sie in die Nachtseite des Mondes versenkt sind, so daß man also aus dieser Entfernung von der Lichtgrenze auch wieder rückwärts auf die Höhe dieser Berge wird schließen können.

Eine dritte Methode, die Höhe der Mondberge zu messen, wird uns durch eine andere, noch bekanntere Erfahrung gegeben, die wir auf unserer Erde täglich zu machen Gelegenheit haben. Wer weiß nicht, daß die Schatten unserer Türme und Berge mittags, wo die Sonne am höchsten steht, am kürzesten, und im Gegenteile beim Auf- oder Untergange der Sonne am längsten, und daß diese Schatten vor dem Mittage gegen Westen und nach demselben gegen Osten gerichtet sind! Ganz ebenso sehen wir auch die Schatten der Berge des Mondes während der Zeit seines 30tägigen Tages hin und wieder ziehen, beim zunehmenden Mond links und beim abnehmenden rechts fallen und zugleich immer länger werden, je näher ihnen die Lichtgrenze kommt, da diese Grenze alle die Punkte des Mondes enthält, denen die Sonne eben auf- und untergeht. Wir haben aber bereits oben (I, § 39) gesehen, wie man auf der Erde aus der bekannten Höhe der Sonne und der Länge des Schattens eines Turmes die Höhe des letzteren finden kann. Ist nämlich in der dort angeführten Fig. 12 AB der Turm und AC die Länge seines Schattens auf dem horizontalen Boden, so ist die Linie CB, über B hin verlängert, nach der Sonne gerichtet, und der Winkel ACB ist die Höhe der Sonne (Einl. § 8), die man mit Hilfe eines Quadranten (Einl. § 19) leicht messen kann, während man die Länge AC des Schattens auf die gewöhnliche Weise mit einem Maßstabe bestimmt. Kennt man aber in einem bei A rechtwinkeligen Dreiecke ABC eine Seite AC mit ihrem anliegenden Winkel ACB, so findet man daraus leicht (I, § 39) auch die diesem Winkel gegenüberstehende Seite AB oder die gesuchte Höhe des Turmes. Ganz dasselbe Verfahren wird man nun auch auf die Berge des Mondes anwenden, deren

Schattenlänge man mit dem Mikrometer messen kann, und wo die Höhe der Sonne über dem Horizonte des Berges ebenfalls bekannt ist, da sie immer gleich dem kürzesten Bogen des Mondumfanges zwischen dem Berge und der Lichtgrenze sein muß.

§ 116. (Topographie des Mondes.) Schon gleich nach Erfindung des Fernrohres, im Anfange des 17. Jahrhunderts, bemühten sich Galilei, Scheiner und Schirläus, ein Bild dieses Gestirns in einer Zeichnung zu entwerfen. Aber diese ersten und unvollkommenen Versuche blieben weit hinter denjenigen zurück, die Hevel in seiner Selenographia im Jahre 1640 veröffentlichte. Selbst die im Jahre 1651 von Riccioli in seinem Almagestum novum mitgeteilte Karte steht tief unter jener von Hevel. Die von Dominic Cassini im Jahre 1680 herausgegebene Mondkarte im Durchmesser von etwas mehr als 0·5 m übertraf wieder alle ihre Vorgänger, da sie nicht nur wie jene ein getreues Bild der einzelnen Mondflecke, sondern auch zugleich die gegenseitige Lage derselben zu geben bemüht war. Eine eigentlich wissenschaftliche, auf wahre Beobachtungen gegründete Bestimmung der Lage dieser Flecke gegen einen ersten Meridian und den Äquator des Mondes wurde erst im Jahre 1748 von Tobias Mayer ausgeführt, dessen Karte von 20 cm im Durchmesser Lichtenberg zu Göttingen im Jahre 1775, nach Mayer's Tode, herausgegeben hat. Durch die detaillierte Bestimmung der Konfiguration einzelner Flecke zeichnete sich zuerst Schröter in Lilienthal aus, der im Jahre 1791 Zeichnungen und Beschreibungen von Teilen des Mondes in seinen „selenotopographischen Fragmenten" bekannt gemacht hat.

Mit den Fortschritten der Optik aber und den höheren Anforderungen der Wissenschaft überhaupt machte sich bald die Unzulänglichkeit jener älteren Generalkarte sowohl als dieser stückweisen Darstellung ohne leitende Grundsätze sehr fühlbar. Dem im Jahre 1840 verstorbenen Lohrmann in Dresden gebührt das Verdienst, zuerst gezeigt zu haben, was sich durch sorgfältige Messungen bei streng durchgeführter systematischer Benutzung derselben auf diesem Felde leisten läßt. Von seiner „Topographie der Mondoberfläche" (Leipzig 1824) erschien aber bei seinen Lebzeiten nur die erste Abteilung, welche kaum das Fünftel der von Lohrmann für den ganzen Mond durchgeführten Arbeit umfaßt, und erst im Jahre 1878 erfolgte nach Überwindung zahlreicher Hindernisse die Publikation der übrigen Abteilungen durch J. F. Schmidt. So blieb es Mädler vorbehalten, eine neue Epoche in der Kenntnis unseres Satelliten zu begründen. Er gab im Verein mit Beer in Berlin im Jahre 1837 eine nach Lohrmann's Plane ausgearbeitete, aber ausschließlich auf eigenen Messungen beruhende Mondkarte von 3 Pariser Fuß (97 cm) im Durchmesser mit einem umständlichen Kommentare heraus, die Frucht fünfjähriger angestrengter Beobachtungen, die mit solcher Gründlichkeit und Umsicht angestellt waren, daß ihr Resultat in der Folge wohl bereichert und ergänzt, aber nie mehr ganz verdrängt und wie die

Leistungen seiner Vorgänger vergessen werden kann. Lohrmann sowohl als Mädler ließen später Mondkarten in kleinerem Maßstabe, der letztere mit begleitenden Erklärungen, erscheinen. Die unserem Werke beigegebene Generalkarte des Mondes (Taf. VII) ist nach der kleineren Lohrmann'schen gezeichnet, an die wir uns absichtlich hielten, um unsere Leser zu Vergleichungen mit der verdientermaßen ohnehin so verbreiteten Mädler'schen zu veranlassen. In den Benennungen der verschiedenen Mondgegenden glaubten wir aber unbedingt Mädler folgen zu müssen, da die von ihm eingeführten Namen allgemein angenommen sind und sein großes Verdienst um diese Sache mit in der Sichtung und Feststellung altherkömmlicher, aber nachgerade ganz vag gewordener Bezeichnungen besteht. In der neuesten Zeit hat J. Schmidt in Athen nach mehr als dreißigjähriger Arbeit eine Mondkarte von 6 Pariser Fuß (195 cm) Durchmesser vollendet, die ebenso alles früher geleistete in Schatten stellt, wie seinerzeit die erste Abteilung der Lohrmann'schen Karte.

Eine solche allgemeine Darstellung des Mondes muß, wie es in der Natur der Sache liegt, sich auf den Vollmond beziehen und die Gegenstände so geben, wie sie bei möglichst kurzen Schatten sich zeigen; so sehr der Anblick des Mondes in anderen Phasen interessanter ist, wo eben durch die Schatten eine weit größere Mannigfaltigkeit des Gesehenen bewirkt wird, und obschon viele Objekte der Mondscheibe nur bei schiefer Beleuchtung wahrzunehmen sind, so muß man doch dort, wo es um treue Darstellung der Örtlichkeit im allgemeinen sich handelt, auf diese Vorteile verzichten. Nur eine plastische Darstellung des Mondes könnte, unter verschiedenen Winkeln künstlich erleuchtet, uns ein mit der Wirklichkeit in jeder gegebenen Phase auch auf den ersten Anblick übereinstimmendes Bild vorführen. Wenngleich nicht so vollkommen, so doch einigermaßen würde demselben Zwecke eine Reihe von Zeichnungen des Mondes oder der Lichtgrenze von Phase zu Phase entsprechen, eine Aufgabe, deren Realisierung wir binnen Kürze von der Photographie erhoffen dürfen. Übrigens wird diese schon an und für sich sehr schwierige Aufgabe noch dadurch wesentlich erschwert, daß das, was wir oben (§ 105) von der immer gleichen Ansicht, die der Mond uns Erdbewohnern bietet, sagten, nur annähernd wahr ist. Denn erstens ist zwar die Zeit der Rotation des Mondes (um seine Achse) stets dieselbe; aber die Winkelgeschwindigkeit bei seiner Revolution um die Erde ist gewissen Änderungen unterworfen, die, wenngleich an sich klein, doch hinreichen, durch das so bewirkte scheinbare Zurückbleiben oder Voreilen der Rotation gegen die Revolution den Anblick des Mondes etwas zu modifizieren und uns bald am westlichen, bald am östlichen Rande Gegenden sichtbar zu machen, die eigentlich der Rückseite des Mondes angehören. Zweitens liegt der Äquator des Mondes wohl nahe, aber nicht genau in der Ebene der Bahn des Mondes um die Erde; es tritt also dasselbe Verhältnis zwischen Mond und Erde ein, in welchem die Erde zur Sonne steht. So wie gewisse Gegenden der Erde um die Pole herum in gewissen Zeiten des

Jahres ununterbrochen von der Sonne beschienen werden, ebenso sehen wir gewisse Gegenden des Mondes rings um seine Pole in gewissen Zeiten des Monats immerfort. Also auch am nördlichen und südlichen Rande der Mondscheibe werden uns zuweilen Gegenden sichtbar, die eigentlich der von uns abgekehrten Seite des Mondes angehören. Da er demnach sowohl um seine Polar- als Äquatorial-Achse zu schwanken scheint, so nannte man diese den Anblick des Mondes teilweise ändernden Erscheinungen Librationen. Diese Librationen bilden eine von den vielen Schwierigkeiten, welche sich der Bemühung, den Mond abzubilden, entgegenstellen, und machen es im Verein mit anderen Umständen notwendig, daß derjenige, welcher eine solche Abbildung unternimmt, nicht bloß ein geübter Zeichner und sorgfältiger Beobachter sei, sondern auch weitläufige Rechnungen nicht scheue. De la Rue hat übrigens in sehr scharfsinniger Weise die durch Libration hervorgerufene Verrückung der Mondoberfläche für stereoskopische Darstellung dieses Himmelskörpers benützt. Die auffallende Erscheinung, daß in solchen Darstellungen der Mond sich nicht als Kugel, sondern in der Form eines mit seiner Spitze uns zugekehrten Eies zeigt, nahm Gussew für eine Bestätigung der oben (§ 109) erwähnten Untersuchung Hansen's.

Eine Generalkarte des Mondes kann aber eben wegen der Librationen nur den zwischen den Grenzen jener Librationen in der Mitte liegenden Anblick des Mondes darstellen. Es wird also auch das in geographischer Weise über den Mond gelegte Gradnetz in der Wirklichkeit nicht immer mit einer gewissen Länge und Breite auf denselben Punkt der Scheibe fallen wie auf der Karte, und man wird, um sich mittels dieses Gradnetzes auf der Karte zu orientieren, auf die jedesmalige Verschiebung durch Libration Rücksicht nehmen müssen.

In der neueren Zeit hat die Photographie, nachdem De la Rue, Rutherford, Draper u. a. bahnbrechend gewirkt, in der Hand der Brüder Henry, Loewy und Puiseux in Paris und der Astronomen der Lick-Sternwarte einen neuen vielversprechenden Weg für die Darstellung des Mondes eröffnet, der bereits zu schönen Resultaten geführt hat, besonders seit Prof. Weinek in Prag sich die Aufgabe gestellt, treffliche, für wissenschaftliche Untersuchungen geeignete Vergrößerungen der obengenannten Photographieen herzustellen.

§ 117. (Veränderungen auf der Mondoberfläche.) Es wurde bereits in früheren Paragraphen erwähnt, daß durch die verschiedene Beleuchtung des Mondes von Seite der Sonne und die dadurch bedingten Änderungen im Schattenwurfe der einzelnen Gegenstände eine große Mannigfaltigkeit in die Ansicht dieses Himmelskörpers gebracht wird. Dies verleiht einzelnen Landschaften oft besondere Reize, so daß sich selbst Schröter an vielen Stellen seines sonst trockenen und einförmigen Werkes nicht enthalten kann, die Genüsse, welche ihm der Anblick dieser Veränderungen gewährte, mit Begeisterung und in einer Art von dichterischer Sprache auszudrücken, wie z. B. beim Plato zu der Zeit, wo die Sonne eben über ihm aufgeht und anfangs nur die Gipfel der höchsten Gebirge vergoldet, während der

Fuß derselben noch unsichtbar und die ganze innere Fläche des Ringgebirges mit finsterer Nacht bedeckt ist. Wenn dann allmählich die Sonne höher steigt, tritt immer mehr von dem das Ganze umfassenden hohen Wallgebirge hervor, die dunkle Farbe der inneren Ebene geht durch mannigfaltige Abstufungen in immer helleres Grau über, bis endlich auch sie in hellem Lichte auf der der Sonne entgegengesetzten Seite des Walles glänzt, während auf der andern Seite die hohen Randgebirge noch ihre schwarzen Schatten auf diese Ebene werfen; zuletzt verschwinden auch diese, wenn die Sonne senkrecht über dem ganzen Fleck steht. So schnell gehen diese Veränderungen, ungeachtet die ganze Periode derselben gleich dem synodischen Monate von $29^1/_2$ Tagen ist, an manchen Stellen des Mondes vor sich, daß besonders in der Nähe der Lichtgrenze zuweilen schon einige Stunden hinreichen, das anfangs gesehene Bild ganz umzugestalten.

Außer den soeben geschilderten bloß optischen Veränderungen auf dem Monde hat es begreiflicherweise seit der Entdeckung des Fernrohrs nicht an Anstrengungen gefehlt, auch wirkliche, nicht bloß scheinbare Veränderungen an ihm aufzufinden. So verwendeten unter anderen Schröter und Gruithuisen sehr viel Zeit und Mühe hierauf, und es wollte auch namentlich der letztere auf dem Monde ganz entschieden Änderungen wahrgenommen, ja sogar deutliche Spuren von Bewohnern aufgefunden haben. Die diesbezüglichen Beobachtungen erwiesen sich aber sehr bald als Täuschungen; übrigens fehlte damals bei dem Mangel hinreichend guter und detaillierter Mondkarten noch jede entsprechende Grundlage zu einer sicheren Entscheidung der Frage nach Veränderungen auf dem Monde. In dieser Hinsicht nun sind wir seit dem Erscheinen der Generalkarten des Mondes von Lohrmann, Mädler und Schmidt, und seitdem wir eine ziemlich große Zahl von genauen Detailzeichnungen verschiedener Mondlandschaften besitzen, in einer günstigeren Lage als unsere Vorgänger; aber die Zeit, die uns von diesen ersten genauen Arbeiten trennt, ist noch viel zu kurz, als daß wir bereits jetzt auf bedeutende Veränderungen auf der Mondoberfläche rechnen könnten. Sehr bedeutend müssen aber Veränderungen sein, wenn sie uns selbst mit unseren besten Instrumenten sichtbar werden sollen, da ja der Mond, trotz seiner verhältnismäßigen Nähe, immerhin noch 384 000 km von uns absteht. Überdies sind auch nur jene wenigen Astronomen, welche sich das Studium des Mondes sozusagen zur Lebensaufgabe gemacht haben, im stande, ein sicheres Urteil über vermeintliche Änderungen auf diesem Himmelskörper zu fällen; denn es wurde oben bemerkt, daß oft bereits geringe Änderungen im Sonnenstande genügen, einer Landschaft einen ganz anderen Charakter aufzudrücken, was bei solchen, die den Mond bloß gelegentlich betrachten, schon vielfach zu Täuschungen und Irrungen Veranlassung geboten hat. Es darf uns deshalb nicht wundern, daß ein Teil der Astronomen auch heute noch gegen die Realität der Veränderungen, die in der letzten Zeit auf der Mondoberfläche eingetreten sein sollen, sich sehr skeptisch verhält. Die bemerkenswertesten dieser vermuteten Veränderungen sind etwa die folgenden.

Im Oktober 1866 machte Schmidt darauf aufmerksam, daß der Mondkrater Linné im Mare serenitatis (Nr. 63 im zweiten Quadranten unserer Mondkarte), den Lohrmann, Mädler und er selbst wiederholt deutlich als Krater gesehen und gemessen hatten, als Krater verschwunden sei, und an dieser Stelle sich jetzt lediglich ein lichter Fleck vorfinde. Dem gegenüber haben aber einige Beobachter, wie Browning, hervorgehoben, daß der Linné in der That wohl im allgemeinen als lichter Fleck erscheine, daß aber mit wechselnder Beleuchtung sich sein Aussehen sehr rasch ändere und er auch jetzt noch in jeder Lunation, freilich nur während einer sehr kurzen Zeit, als Krater sichtbar sei.

Wenn es sich hier um das Verschwinden eines Kraters handelt, so machte 1877 Dr. H. J. Klein auf Neubildungen aufmerksam, die in der Gegend von Hyginus (Nr. 14, im zweiten Quadranten unserer Mondkarte) eingetreten sein sollen, nämlich auf einen Krater im NW und eine rillenartige Einsenkung im W, Gebilde, die jetzt so auffällig sind, daß sie den älteren Selenographen unmöglich hätten entgehen können, wenn sie schon vorhanden gewesen wären. Ebenso soll nach Klein im Mare nectaris ein schöner Krater erst in neuerer Zeit sich gebildet haben.

Als ein anderes Beispiel von Veränderungen auf der Mondoberfläche werden auch die beiden nahe aneinander liegenden Krater Messier (Nr. 70 im ersten Quadranten) angeführt, welche beide auf den früheren Mondkarten als vollkommen runde Krater gezeichnet werden, während doch der eine davon elliptisch, der andere sogar wie ein Rechteck mit abgerundeten Ecken geformt ist.

Man will auch, namentlich in früheren Zeiten, mehrmals in der Nachtseite des Mondes Vulkane haben aufleuchten sehen. Nach Mädlers kritischen Untersuchungen läßt sich indes kaum bezweifeln, daß es die Mondkrater Aristarch, Kopernikus und Kepler waren, von denen insbesondere der erste im Vollmonde in einem die Augen blendenden Glanze strahlt. Diese ihre starke Reflexionskraft macht sie uns nun nicht selten selbst noch im aschgrauen Lichte des Mondes (§ 103) als mattleuchtende, einer eben verlöschenden Kohle ähnliche Flecken sichtbar.

§ 118. (Bewohner des Mondes.) Der im § 107 erwähnten Umstände ungeachtet, hat es nicht bloß unseren Dichtern, sondern auch mehreren Astronomen gefallen, diese Wüste mit menschenähnlichen Bewohnern zu bevölkern. Jenen wird man diese poetische Licenz nicht verargen dürfen, da dieser Himmelskörper der Vertraute, um nicht zu sagen der Freund von uns allen in jener wohl den meisten unserer Leser schon entschwundenen Rosenzeit der Jugend gewesen ist, in welcher die lebhaftere Einbildungskraft sich so leicht und gern in die höheren Regionen schwingt, und da er selbst den Gefühllosesten, wenn er sein Auge einmal zu dem gestirnten Himmel erhebt, durch die wunderbare Abwechselung seiner Gestalt und durch sein helles Licht an sich zieht, das nicht nur die Fixsterne, sondern selbst das Licht Jupiters und der Venus verdunkelt:

— — Hesperus, that led
The starry horst, rode brightest; till the Moon
Rising in clouded majesty, at length
Apparent queen, unveiled her peerless form,
And o'er the dark her silver mantle threw.

Milton.

Daß die Mondbewohner, wenn sie überhaupt da sind, von uns selbst und allem, was wir auf der Erde sehen, nicht wenig verschieden sein mögen, wird wohl niemand bezweifeln wollen, der sich aus dem vorhergehenden auch nur daran erinnert, daß der Mond, wenigstens auf der uns zugekehrten Seite keine unserer Luft vergleichbare Atmosphäre hat und also auch kein Wasser haben kann. Dieser Mangel an Luft und Wasser, verbunden mit der Abwesenheit aller eigentlichen Jahreszeiten auf dem Monde, muß auf das animalische und vegetabilische Leben der Oberfläche dieses Weltkörpers einen so großen und so wesentlichen Einfluß äußern, daß es uns schwer fallen mag, die Folgen eines solchen Zustandes auch nur in ihren größeren Zügen einigermaßen getreu darzustellen. Vielleicht leben die Geschöpfe des Mondes, wie bei uns die Fische, nur in den tiefsten Teilen der Oberfläche desselben, oder nur auf dem Boden der vielen Höhlen und Abgründe, wo sie, wie unsere Maulwürfe und Regenwürmer wohnen oder, gleich den Austern in ganzen Bänken gelagert, ihre Tage in unthätiger Trägheit verleben. Oder sollten wir umgekehrt nicht auch annehmen dürfen, daß die Leute im Monde so klein, so thätig und betriebsam wie unsere Ameisen sind, und daß ihrer daher auf dem Boden einer solchen Höhle nicht weniger in sehr bequemen und geräumigen Häusern beisammen wohnen als bei uns in Paris oder London zu finden sein mögen? Weil *wir* nur auf der Oberfläche unserer Erde leben, sollen darum die Bewohner anderer Weltkörper zu derselben Lebensweise gezwungen sein?

Wir haben bereits wiederholt gesagt, daß den Seleniten unsere Erde in der Oberfläche 13mal größer als uns der Mond erscheint, und daß sie ihnen dieselben Abwechslungen der Lichtgestalten zeigt, die wir bei dem Monde bemerken. So auffallend ihnen diese Erscheinungen bei einem so großen Weltkörper an sich sein mögen, wird es trotzdem auch dort nicht an Leuten fehlen, die sich um alles, was über ihnen am Himmel vorgeht, nicht weiter bekümmern. Aber dafür werden ebendieselben und aus ebenderselben Ursache wie bei uns desto mehr betroffen und erschrocken sein, wenn nun der gewöhnliche Lauf dieser Erscheinungen plötzlich unterbrochen wird und wenn jener große Himmelskörper sich mitten am Tage zwischen sie und die Sonne stellt und alles um sich her in die Finsternis der Nacht einhüllt. Ohne Zweifel sind diese Erscheinungen auch auf dem Monde, für den großen Haufen wenigstens, ein Gegenstand der Furcht und des Entsetzens, wie sie es so lange Zeit auf der Erde waren: denn, um mit *Fontenelle* zu reden, welches Recht sollen sie haben, gescheiter zu sein als wir?

Aber so sehr sie uns auch in diesem Stücke gleichen mögen, in vielen

anderen sind sie gewiß wieder ebenso sehr von uns verschieden, und wir würden uns sicher nicht wenig über ihre Gestalt und über ihr ganzes Wesen verwundern, wenn wir einmal Gelegenheit haben sollten, zu ihnen zu kommen, nicht weniger ohne Zweifel, als sie selbst über uns erstaunen würden, wenn sie uns einmal näher zu Gesicht bekommen sollten. Gewiß können sie sich ebenso wenig vorstellen, wie es hier unten zugeht, als wir selbst uns einen Begriff von ihrem Treiben dort oben machen können. Daraus folgt jedoch keineswegs, daß die Mondbewohner weniger glücklich und zufrieden sind als wir selbst. Denn die Natur hat zweifellos Mittel genug, sie für das, was wir Entbehrungen nennen, reichlich zu entschädigen. Ihre Fluren werden durch keinen Regen erquickt, aber dafür auch durch keinen Hagel zerschlagen. Sie kennen die Morgen- und Abendröte nicht, aber sie wissen auch nichts von Wolken und Platzregen, die ihre Felder überschwemmen, und nichts von Orkanen, die ihre Wohnungen zerstören. Wenn sie keinen Regenbogen sehen, so sehen sie auch die verheerenden Blitze nicht, so weckt sie das Brüllen des Donners auch nicht aus ihrem Schlafe, in welchem sie still und friedlich ihre Tage verträumen, während wir die unseren in stetem Kampfe mit uns selbst und unseren Umgebungen zubringen. Und während unseren Freuden nur zu oft Reue und Schmerz folgt, sind ihnen vielleicht beide völlig unbekannt. Wenn wir, die wir mit einem sehr übel angebrachten Stolze auf unsern sogenannten Diener und auf die Bewohner desselben herabsehen, wenn wir, wenn die Besten von uns ihr Glück in einem thatenreichen, mit Ehre und Schätzen bedeckten Leben suchen und es nicht finden — so kümmern sie vielleicht in ihrer ewigen Ruhe sich nichts um das Schattenbild des Ruhmes und genießen dafür ein wohl weniger glänzendes, aber dafür auch ein desto reineres und stetigeres Glück und haben keine Ursache, uns um all unser Drängen und Treiben zu beneiden. Wenn sie die Buchdruckerkunst vielleicht noch nicht erfunden haben, und wenn sie dadurch in ihren Schulen und Universitäten etwas zurückgeblieben sein oder, wie man sagt, das Pulver noch nicht erfunden haben sollten, nun so ist ihnen dafür auch unsere höhere Taktik unbekannt geblieben, durch die wir, oft ohne zu wissen warum, unsere Brüder zu tausenden in einer Stunde morden, blühende Städte in Aschenhaufen und glückliche Länder in Wüsten und Leichenfelder verwandeln. Und in der That, wenn wir uns schon einmal diesen Gegensätzen überlassen wollen, wer könnte es uns verargen, wenn wir die schon längst von der Erde aus Pandora's Urne entflohenen Güter *dort* aufsuchen möchten, den *ewigen Frieden*, nach welchem wir schon so lange vergebens seufzen, das *goldene Zeitalter*, das nur noch in unsern Gedichten lebt, und die *Unschuld der Sitten*, die, nach *Ariosto's* lieblicher Dichtung, samt dem verlorenen *gesunden Menschenverstande* unserer Gelehrten und Helden, dort oben unter der Aufsicht eines eigenen Genius in besonderen Phiolen aufbewahrt wird und deshalb hier unten so selten mehr zu finden sein soll!

§ 119. (Verkehr mit Seleniten.) Da wir, wie wir aus dem Vorhergehenden

wissen, keine Hoffnung haben, je eine Reise in den Mond zu machen, so bleibt uns, mit den Bewohnern desselben Bekanntschaft zu machen, kein anderes Mittel übrig, als eine Art von Korrespondenz mit ihnen zu etablieren. Aber auf welche Art? An Posten und Packetboote ist nicht zu denken. Aber vielleicht an optische Telegraphen? Sie müßten etwas groß sein, um in der Entfernung von 384 000 km noch gesehen zu werden. Allein diese Schwierigkeit ließe sich vielleicht, wenn man weder Mühe noch Kosten scheut, auch beseitigen; die größere und schwerer zu besiegende würde die Wahl der Zeichen und der Sprache für die telegraphische Korrespondenz sein. So viel auch Sprachen auf unserer Erde angetroffen werden, so sind sie doch alle auf dem Monde unbekannt, und es ist sehr möglich, daß die Leute dort gar keine eigentliche Sprache haben und sich auf ganz andere Art unter einander verständlich machen. Und die Zeichen? Diese sind allerdings willkürlich, aber dafür muß auch eine vorläufige Verabredung vorausgegangen sein, wenn man anders sich gegenseitig verstehen will. Wie soll man nun diese Verabredung treffen, da uns auch dazu alle Mittel fehlen? In dieser Verlegenheit hat einer unserer ausgezeichnetsten Geometer einen Vorschlag gemacht, der manchem auf den ersten Blick sehr ungewöhnlich, der aber, genauer besehen, doch als der einzig mögliche erscheinen wird, und welcher der Sonderheit der Sache wegen hier eine kurze Erwähnung verdient.

Er ging von der Voraussetzung aus, daß die Leute im Monde, wie sie auch übrigens beschaffen sein mögen, mit Verstand begabte Wesen sind. Wer dies nicht annehmen will, muß es auch überflüssig und selbst thöricht finden, mit ihnen eine Korrespondenz irgend einer Art zu eröffnen. Wenn sie also, schloß er weiter, in der That verständige Wesen sind, so werden sie, da der Verstand überall derselbe sein muß, die eigentliche Verstandeswissenschaft, d. h. die Mathematik treiben. Wenn sie sich aber mit Mathematik beschäftigen, so können ihnen wenigstens die ersten Hauptsätze der Geometrie nicht unbekannt sein. Wenn man ihnen daher einen der einfachsten Sätze der Elementargeometrie, z. B. den sogenannten Pythagoräischen Lehrsatz in großem Maßstabe, etwa auf einer weiten Ebene der Erde verzeichnet, vorlegte, so daß sie denselben erkennen könnten, so würden sie wahrscheinlich dadurch aufmerksam gemacht werden und uns vielleicht mit der Zeit durch eine ähnliche Figur, die sie auf der Mondfläche ausführen, eine Antwort und ein Zeichen geben können, daß sie uns verstanden haben. Dadurch würden wir also wenigstens die Uberzeugung erhalten, daß es dort oben Wesen giebt, die mit Verstand begabt sind und mit denen zu korrespondieren es der Mühe wert ist. Sonach wäre der erste Schritt zu einer näheren Bekanntschaft mit den Mondbürgern gemacht, — und die andern werden folgen, wenn erst dieser ins Reine gebracht sein wird.

Kapitel XII.

Die Monde der äußeren Planeten.

I. Satelliten des Mars.

§ 120. (Entdeckung der Marsmonde.) Die Entdeckung der Monde des Mars durch Asaph Hall im August 1877 bildet insofern eine der interessantesten Epochen in der Geschichte der Astronomie, als sie die Überlegenheit der Riesenrefraktoren der neuesten Zeit über die stärksten Refraktoren der vorigen Dezennien in ähnlicher Weise dokumentierte, wie die Entdeckung der Jupitermonde durch Galilei kurz nach der Erfindung des Fernrohres die Überlegenheit dieses Instrumentes über das freie Auge. Wir halten daher hier ein näheres Eingehen in die Geschichte der Entdeckung dieser Himmelskörper und in die Verhältnisse des Marssystems überhaupt umsomehr für geboten, als die Marssatelliten manche Eigentümlichkeiten zeigen, die sie zu den interessantesten Gebilden unseres Sonnensystemes gestalten.

Die Idee, daß Mars ebenso wie die Erde, oder allgemeiner, daß überhaupt alle Planeten von Monden begleitet seien, wurde gleich nach der Auffindung der Jupitermonde von Kepler klar und deutlich ausgesprochen. Als nämlich die Entdeckung der Jupitermonde bekannt wurde, ward die Existenz derselben sowie die Realität der astronomischen Entdeckungen Galilei's überhaupt vielfach angezweifelt; es schrieb daher Kepler zur Verteidigung Galilei's eine „Dissertatio cum Nuncio Sidereo nuper ad mortales misso", in welcher der folgende Passus vorkommt:

Haec igitur cum consentientibus testimoniis etiam alii de Lunæ corpore asseverent, consentanea iis, quæ tu de eodem longe dilucidissima affers experimenta: tantum abest ut fidem tibi in reliquo libro et de 4 circum Jovialibus planetis derogem, ut potius optem, mihi in parato jam esse perspicillum, quo te in deprehendendis circum-Martialibus (ut mihi proportio videtur requirere) duobus, et circum-Saturniis 6 vel 8 prævertam, uno forsan et altero circum-Venerio et circum-Mercuriali accessuro.*)

Kepler selbst suchte in der That auch eifrig nach den vermuteten Marsmonden, wie verschiedene gelegentliche Notizen in seinen Werken, vor allem in der „Narratio de Jovis Satellitibus" zeigen, und glaubte sogar eine Zeitlang, Galilei habe dieselben bereits aufgefunden, indem er das Buchstabenrätsel

Smaismrmilmepoetaleumibunenugttauiras,

durch das Galilei Anfang Juli 1610 seine neueste astronomische Entdeckung bekannt machte, in folgenden, wie er selbst gesteht, halb barbarischen Vers auflöste:

Salve, umbistineum geminatum Martia proles

*) Dr. Ch. Frisch, J. Kepleri Opera omnia, Vol. II, pag. 491.

während Galilei selbst damit die sonderbare Form, in der ihm Saturn erschien, hatte andeuten wollen, indem er im folgenden Jahre auf die Bitte Kaiser Rudolf's II. die Lösung des obigen Anagrammes in nachstehenden Worten gab:

Altissimum planetam tergeminum observavi.

Diese Vermutungen Kepler's, welche durch die Auffindung der ersten Saturnmonde bestätigt zu werden schienen, veranlaßten immer neue Nachforschungen nach den Satelliten des Mars, und das Mißlingen derselben bot, wie es scheint, manchem geistreichen Manne des vorigen Jahrhunderts eine erwünschte Gelegenheit, derartige Argumente und darauf begründete Bestrebungen lächerlich zu machen. So schreibt beispielsweise J. Swift in seiner berühmten Satire „Travels of Mr. L. Gulliver" (1726), nachdem er dessen Ankunft unter den Laputen und die beständige Angst dieses Volkes vor dem Zusammenstoße mit dem Schweife eines Kometen oder vor einer anderen gefährlichen Umwälzung am Himmel geschildert — eine Angst, welche so weit geht, daß sie weder ruhig schlafen, noch sich irgend ein anderes Vergnügen gönnen können:

They spend the greatest part of their lives in observing the celestial bodies, which they do by the assistance of glasses, far excelling ours in goodness . . . This advantage has enabled them, to extend their discoveries much farther than our astronomers in Europe; for they have made a catalogue of 10 000 fixed stars, whereas the largest of ours do not contain above one third of that number. They have likewise discoveved two lesser stars or satellites, which revolve about Mars, whereof the innermost is distant from the centre of the primary planet exactly three of his diameters and the outermost five; the former revolves in the space of 10 hours and the latter in $21\frac{1}{2}$, so that the squares of their periodical times are very near in the same proportion with the cubes of their distance from the centre of Mars.

Ähnlich, nur weit sarkastischer, spricht Voltaire über die Monde des Mars im Micromegas. Micromegas, ein Bewohner des Sirius, war seiner Schriften wegen in den Geruch der Ketzerei gekommen und verließ deshalb mit einigen Freunden seine Heimat, um unser Sonnensystem zu besuchen. Über diesen Besuch berichtet Voltaire folgendes.

En sortant de Jupiter ils traversèrent un espace d'environ cent millions de lieus, et ils côtoyèrent la planète de Mars, qui, comme on sait, est cinq fois plus petite que notre petit globe; ils virent deux lunes qui servent à cette planète, et qui ont échappé aux regards des nos astronomes. Je sais bien que le père Castel écrira, et même plaisamment, contre l'existence de ces deux lunes; mais je m'en rapporte à ceux qui raisonnent par analogie. Ces bons philosophes-là savent combien il serait difficile que Mars, qui est si loin du soleil, se passât à moins de deux lunes.

Als aber auch die Nachforschungen Herschel's mit seinen mächtigen Spiegeln nach Marsmonden erfolglos blieben, gewann die Ansicht, daß Mars überhaupt keine besitze, unter den Astronomen immer mehr Boden; ja sie wurde vielfach bereits als sicher konstatiert betrachtet. So sagt unter Anderen Mädler, der sich um die Topographie unseres Sonnensystemes so hervorragende Verdienste erworben:

„. . . . Es dürfte nach allem bisher Gesagten nicht zu gewagt sein, den Mars als einen unserer Erde auch in physischer Beziehung sehr ähnlichen Weltkörper zu betrachten. . . . . Die wesentlichsten Unterschiede zwischen Mars und Erde sind der beträchtlich geringere Durchmesser des ersteren, die starke Bahnexcentricität und der Mangel eines Mondes, denn letzteres ist wohl als vollkommen erwiesen anzunehmen.*)

Die Verteidiger dieser Ansicht wußten hierfür auch eine Reihe von Gründen anzugeben, unter denen noch einmal die alte Auffassung der Erde, zwar nicht mehr als des allervorzüglichsten, aber doch als eines der vorzüglichsten Himmelskörper eine gewisse Rolle spielte. Andererseits verschwand doch der Glaube an einen Marsmond nicht ganz, und die Anhänger dieser Meinung waren auch um Gründe für dieselbe nicht verlegen. Von Analogiegründen abgesehen, führte man zunächst die, nebenbei gesagt, ganz irrige und auch, wie wir oben sahen, schon von Voltaire gebührend bespöttelte Anschauung ins Feld, daß der Hauptzweck der Satelliten die Erhellung und Verschönerung der Nächte ihres Hauptplaneten sei, und daß daher die von der Sonne entfernteren Planeten deren umsomehr bedürfen, als sie sich keiner so großen Tageshelle erfreuen wie die der Sonne näheren. Als Grund, warum man den oder die Marsmonde bisher noch nicht aufgefunden, gab man seit Bode gewöhnlich folgendes an. Da Mars selbst nur klein ist und das Licht der Sonne nicht eben lebhaft zurückwirft, so finden beide Umstände vermutlich auch bei den Marstrabanten statt; sie werden daher wohl sehr lichtschwach und nur in günstigen Oppositionen durch die besten Fernrohre wahrzunehmen sein. Ständen sie überdies viele Diameter von ihrem Hauptplaneten ab, so könnten sie sich in günstigen Oppositionen auf mehrere Grad von ihm entfernen, was besonders dann ihr Auffinden sehr erschweren müßte, falls eine beträchtliche Neigung ihrer Bahnen gegen die Ekliptik hinzuträte.

So wurde sehr viel für und gegen geschrieben; allein trotzdem scheint in der ganzen ersten Hälfte unseres Jahrhunderts niemand eine umfassende Nachsuchung nach Marsmonden unternommen zu haben. Erst im Jahre 1865 machte D'Arrest darauf aufmerksam, daß man durch Suchen nach einem Marsmonde über mehrere Grad eine nicht nur endlose, sondern auch unnütze Arbeit unternehmen

*) W. Beer und Dr. J. H. Mädler, Beiträge zur physischen Kenntnis der himmlischen Körper, S. 125.

würde, da es im Gegenteil wahrscheinlicher sei, daß ein etwa vorhandener Marsmond sich bisher gerade aus dem entgegengesetzten Grunde, nämlich wegen zu großer Nähe am Planeten, unseren Wahrnehmungen entzogen habe. Es hätte nämlich bei der geringen Masse des Mars ein Mond, der eine Elongation von 1^0 10′ bei einer günstigen Opposition erreichen könnte, bereits eine größere siderische Umlaufszeit als sein Hauptplanet, und zu einer solchen Annahme berechtige keiner der bekannten Monde auch nur im entferntesten. Man hat überhaupt für eine Oppositionsentfernung des Mars von 0·52 folgende sich entsprechenden Werte:

Sider. Umlaufszeit des Marsmondes.	Größte Digression in der Opposition.
1 Tag	0·9 Bogenminuten
2 Tage	1·4 =
4 =	2·3 =
7 =	3·3 =
11 =	4·4 =
16 =	5.7 =
27·32 =	8·2 =
100 =	19·4 =
200 =	30·8 =

D'Arrest selbst suchte in der allerdings nicht sehr günstigen Marsopposition von 1864 derartig planmäßig nach einem Marsmonde, daß ihm ein solcher bis 12. Größe kaum entgangen wäre, wenn er in der größten Elongation sich 8′ bis 10′ von seinem Hauptplaneten hätte entfernen können. In einem geringeren Abstande konnte er aber selbst unter den besten Umständen so schwache Sterne an dem Refraktor der Kopenhagener Sternwarte nicht mehr sehen.

So standen die Sachen, als Asaph Hall im Frühjahr 1877 die Beobachtungen am großen Refraktor der Washingtoner Sterwarte von 66 cm Objektivöffnung übernahm, der unter Newcomb's erprobten Händen bereits vorzügliche Resultate in Bezug auf das Uranus- und Neptunsystem geliefert hatte, und sofort die Idee faßte, in der bevorstehenden günstigen Opposition des Mars systematisch nach einem Monde desselben zu forschen. Beim Durchblättern der Litteratur dieses Gegenstandes schienen ihm aber die Chancen, einen solchen zu finden, so gering, daß er, wie er selbst erzählt, diesen Vorsatz wohl aufgegeben hätte, wenn ihn seine Gemahlin nicht zum Beharren auf demselben ermuntert hätte.

Als daher Anfang August der Planet eben eine hinreichend starke geocentrische Bewegung erreicht hatte, um mittelst derselben einen Satelliten leicht von den zahlreichen kleinen Fixsternen längs der scheinbaren Marsbahn unterscheiden zu können, begann A. Hall seine Nachforschungen und richtete dabei sein Augenmerk zuerst auf schwache Objekte in einiger Entfernung vom Planeten. Da sich aber alle diese Objekte als Fixsterne erwiesen, begann er am 10. August die unmittelbare Nachbarschaft des Planeten zu durchmustern, war aber erst in der folgenden Nacht

so glücklich, um $2^1/_2$ Uhr morgens ein schwaches Sternchen in einer Entfernung von 71″ nordöstlich vom Mars zu erblicken, dessen eigentliche Natur indes nicht sofort konstatiert werden konnte, weil vom Potomac aufsteigende Dünste es kurz nachher unsichtbar machten. Umzogener Himmel gestattete auch an den folgenden Abenden keine Beobachtungen; es konnte daher Hall erst am 16. August in einem wieder östlich vom Planeten stehenden Sternchen, das sich nach den späteren Bahnberechnungen als identisch mit dem am 11. August beobachteten herausstellte, mit Sicherheit einen Satelliten nachweisen. Als er diesen am 17. August aufmerksam verfolgte, entdeckte er einen zweiten, dem Planeten noch näheren, der ihm aber in den nächsten Tagen immer rätselhafter wurde; denn er zeigte sich in ein und derselben Nacht an verschiedenen Seiten des Mars, so daß Hall anfangs an das Vorhandensein von zwei oder drei inneren Monden dachte, da es ihm begreiflicherweise sehr unwahrscheinlich erschien, daß ein Mond in einer kürzeren Zeit einen Umlauf um seinen Planeten vollenden sollte, als dieser sich um seine Achse dreht. Am 20. und 21. August überwachte er daher Mars die ganze Nacht hindurch und überzeugte sich dadurch, daß nur ein innerer Satellit vorhanden sei, der aber in weniger als einem Dritteil der Rotationszeit seines Planeten denselben umkreist: ein Fall, der in unserem Sonnensysteme einzig dasteht.

Unter den verschiedenen für die neuen Himmelskörper in Vorschlag gebrachten Namen wählte Hall den Namen Deimos für den äußeren, Phobos für den inneren Mond aus, die Mr. Madan aus Eton in Anregung gebracht hatte, weil der griechischen Mythologie zufolge Deimos und Phobos, die Personifikation von Furcht und Schrecken, die Söhne und gewöhnlichen Begleiter des Ares waren, welche ihm auch seine Rosse anschirrten, sobald er sich in das männermordende Schlachtgetümmel einmischen wollte. So schreibt Homer (Ilias XV, 119, 120), als Ares sich anschickte, in die Reihen der Griechen einzustürmen, um den Tod seines Sohnes Askalaphos zu rächen:

Ως φάτο καί ῥ' ἵππους κέλετο Δεῖμόν τε Φόβον τε
Ζευγνύμεν, αὐτὸς δ' ἔντε' ἐδύσετο παμφανόωντα.

Als die Entdeckung der Marsmonde bekannt wurde, namentlich aber, nachdem Hall die ersten Ephemeriden berechnet hatte, erging es mit diesen Himmelskörpern genau so wie zwei Decennien früher mit dem Siriusbegleiter: beide hatten zur Auffindung die größten, zu jener Zeit existierenden Refraktoren erfordert, wurden aber dann, einmal entdeckt, auch an viel kleineren Instrumenten mit Leichtigkeit gesehen. So wurden die Marsmonde sofort mit dem Merz'schen Refraktor von 38 cm der Sternwarte des Harvard College zu Cambridge (N. A.) und mit dem Clark'schen von 31 cm zu Glasgow (N. A.) aufgefunden und Deimos sogar von Wentworth Erk zu Sherrington in Irland mit einem Clark'schen Fernrohr von 19 cm beobachtet, selbst wenn er das Objektiv bis auf $12^1/_3$ cm abblendete. Ebenso sah auch Trouvelot Deimos mehrmals in einem Fernrohr von 16 cm des Harvard College. Was die letzteren Leistungen

betrifft, zeugen sie übrigens nicht bloß von der Vortrefflichkeit der dabei angewendeten Instrumente, sondern auch von einer ganz außergewöhnlichen Empfindlichkeit des Auges des Beobachters für schwache Lichteindrücke. Sie können übrigens das eingangs Gesagte nicht entkräften. Denn es ist etwas ganz anderes, ein schwaches Objekt zu entdecken, als es nach seiner Entdeckung aufzufinden, besonders wenn man die Position kennt, in der man es zu suchen hat. Auch hier trifft die oben angeführte Analogie mit den Jupitermonden zu: Personen, welche einen oder den anderen derselben unter günstigen Umständen wahrnehmen, gehören, wie wir weiter unten sehen werden, nicht gerade zu den allergrößten Seltenheiten; aber man kann trotzdem wohl mit aller Bestimmtheit behaupten, daß die Jupitermonde nie mit freiem Auge entdeckt worden wären.

§ 121. (Größe und Bewegungsverhältnisse der Marsmonde.) Die scheinbare Helligkeit der Marstrabanten suchten schon 1877 Hall und andere Beobachter durch Vergleichung mit kleinen Fixsternen, denen Mars auf seinem Laufe begegnete, zu ermitteln und schätzten sie dabei auf etwa 12. Größe. Dies zeigt wieder sehr deutlich, daß die Schwierigkeit, sie wahrzunehmen, lediglich durch ihre Nähe an dem übermäßig hellen Hauptplaneten bedingt ist. Wie viel dies austrägt, kann man hier auch noch aus folgendem ersehen. Nach den übereinstimmenden Angaben aller Beobachter ist Phobos nicht unbedeutend heller als Deimos, wie leicht zu erkennen ist, wenn beide nahe bei einander stehen, und wie auch daraus folgt, daß man Phobos bis zu kleineren Elongationen vom Planeten verfolgen kann. Trotzdem ist im allgemeinen Phobos viel schwerer zu bemerken als Deimos, weil er selbst bei seiner größten Ausweichung noch immer zu sehr von Mars überstrahlt wird.

Die ausgedehntesten Helligkeitsmessungen der Satelliten hat aber der Direktor der Sternwarte des Havard College E. C. Pickering angestellt, und nach seinen Beobachtungen kann man als mittlere Oppositionsgröße für Phobos 12·0 und für Deimos 12·3 annehmen.

Die Bahnebene der Marssatelliten fällt fast vollständig mit der Ebene des Äquators ihres Hauptplaneten zusammen. Nimmt man nämlich die Lage des letzteren nach den neuesten Bestimmungen von Schiaparelli an, so hat man, auf das Äquinoktium und die Ekliptik von 1877 bezogen:

	Länge des aufst. Knotens.		Neigung.	
Marsäquator	84°	28′	26°	21′
Bahn des Phobos	82	55	26	17
= = Deimos	85	32	25	47.

Bezüglich ihrer Größe spielen die Marstrabanten unter den Satelliten beiläufig dieselbe Rolle wie die Asteroiden unter den übrigen Planeten. Nimmt man nämlich mit Zöllner an, daß in der mittleren Opposition Mars rund achtmal heller ist als Zöllner's Normalstern erster Größe Capella, so folgt aus den obigen Größenangaben, daß Mars Phobos 508 000mal und Deimos 655 000mal an Helligkeit übertrifft. Setzt man nun ferner die Reflexions-

fähigkeit der Monde gleich der ihres Hauptplaneten, so erhält man daraus für die Durchmesser von Phobos und Deimos resp. 0·0014 und 0·0012 Marsdurchmesser oder, diesen letzteren zu 6750 km angenommen, für Phobos 9·4 und für Deimos 8·1 km, d. h. resp. 1·3 und 1·1 geographische Meilen. Nicht minder gering werden dem entsprechend auch die scheinbaren Größen dieser Monde vom Mars aus gesehen, trotzdem sie demselben so ungemein nahe stehen. Denn vom Zentrum des Mars aus erscheint selbst Phobos nur unter einem Winkel von 3·6′ und Deimos gar nur unter einem solchen von 1·2′. Den Marsbewohnern erscheint daher der letztere im Durchmesser $24^1/_2$-, in der Oberfläche 600mal kleiner als uns der Mond; es werden deshalb die Marsbewohner, wenn sie sich nicht einer weit schärferen Sehkraft erfreuen als wir, mit unbewaffnetem Auge ebenso wenig die Phasen desselben wahrnehmen wie wir die der Venus. Daß bei solchen Verhältnissen die Erhellung der Nächte ihres Planeten nicht der Hauptzweck der Marsmonde sein könne, braucht wohl nicht erst weiter ausgeführt zu werden.

Das merkwürdigste am Marssystem ist aber die rasche Umlaufszeit der Trabanten, namentlich des näheren Phobos, um ihren Zentralkörper. Die Umlaufszeit des letzteren beträgt nämlich nur 7·65, die Rotationszeit des Mars hingegen 24·62 Stunden; es beträgt daher areocentrisch die stündliche Winkelbewegung von Phobos 47·06° und von einem Punkte der Marsoberfläche 14·62°, also die relative Winkelbewegung von Phobos gegen einen Punkt der Marsoberfläche stündlich 47·06°—14·62° = 32·44°, oder in einem Marstage 800°, d. h. nahezu $2^1/_4$ Kreisperipherien. Infolgedessen scheint Phobos einen Marsbewohner täglich mehr als zweimal zu umkreisen. Außerdem hat die Nähe des Mondes an seinem Hauptplaneten noch eine andere merkwürdige Erscheinung zur Folge. Wie man nämlich aus einer einfachen Zeichnung leicht ersieht, steht ein Gestirn, das im Zenithe kulminiert, dem Beobachter bei der Kulmination beiläufig um den Erdhalbmesser näher als beim Auf- und Untergange. Dasselbe gilt selbstverständlich auch für Mars, und da Phobos nur 2·8 Halbmesser seines Planeten vom Zentrum desselben absteht, wird sich seine Entfernung an jenen Orten, an denen er im Zenithe kulminiert, beim Aufgange und bei der Kulmination wie 2·8 zu 1·8 oder wie 14 zu 9 und die scheinbare Größe und Leuchtkraft wie das Quadrat dieser Zahlen, d. h. sehr nahe wie 5 zu 2 verhalten. Wegen dieses Umstandes, verbunden mit der oben erwähnten raschen Winkelgeschwindigkeit, muß Phobos den Marsbewohnern ein ganz eigentümliches Schauspiel darbieten. Er wird sich nämlich, und zwar sehr rasch, den übrigen Sternen entgegengesetzt zu bewegen scheinen, d. h. im Westen auf- und im Osten untergehen. Ferner wird die große Verschiedenheit seiner Entfernung von einem Marsorte zwischen Auf- und Untergang und Meridianpassage Anlaß zu scheinbaren Excentricitäten in seiner Bewegung geben und ihn als einen veränderlichen Stern erscheinen lassen.

Minder auffallend stellt sich für einen Marsbewohner die Bewegung von Deimos dar: er umkreist seinen Hauptplaneten in etwa 5 Tagen. Hingegen muß Mars den Bewohnern seiner Monde ein Schauspiel von unvergleichlicher Pracht und Großartigkeit darbieten. Von Phobos aus gesehen erscheint er als eine Scheibe von $42\frac{1}{2}^0$ im Durchmesser, oder in diesem etwa 82mal und in der Oberfläche 6700mal größer als uns die Sonne oder der Mond: und dieser riesige Körper macht in einem unserer Tage zweimal alle jene Phasen durch, zu denen unser Mond einen Monat bedarf! Auch für Deimos hat Mars noch einen scheinbaren Durchmesser von $16\frac{1}{2}^0$, der den unseres Mondes um das 32fache übertrifft, so daß er auch für diesen in der Oberfläche noch 1000mal größer erscheint, als uns der Mond.

Die Bahn von Phobos ist merklich excentrisch, und die Apsidenlinie derselben besitzt eine rasche Drehung in der Bahnebene. Aus seinen Messungen im Jahre 1894 verbunden mit den Washingtoner Beobachtungen von 1877, 1879 und 1886 bestimmte H. Struve den Betrag dieser Drehung auf jährlich 158°. Eine derartige Erscheinung bei einer Satellitenbahn rührt von der Abplattung des Hauptplaneten her: diese kann daher aus ihr bestimmt werden, und ergiebt sich nach den Berechnungen von H. Struve für Mars zu $\frac{1}{190}$. Sie ist daher erheblich größer als die Abplattung der Erde, trotzdem diese etwas schneller rotiert, was darauf hinweist, daß bei ihm die Dichte gegen das Zentrum hin langsamer zunimmt. Auch die Bahn von Deimos ist schwach excentrisch: die jährliche Drehung seiner Apsidenlinie beläuft sich aber nur mehr auf 6·4°.

Die übrigen Bahnelemente der Marsmonde enthalten die Tabellen am Schlusse: wir wollen daher hier nur nochmals hervorheben, daß uns diese Himmelskörper auch ein gutes Mittel liefern, die Masse ihres Hauptplaneten zu bestimmen, welche sich aus den Störungen, die er auf andere Planeten, namentlich die Erde, ausübt, nicht mit Genauigkeit ermitteln läßt, weil sie sehr unbedeutend ist und ebendeshalb auch nur sehr unbedeutende Störungen veranlaßt.

II. Satelliten des Jupiter.

§ 122. (Entdeckung und Namen der vier älteren Jupitermonde.) Jupiter ist von 5 Monden umgeben, von denen die Entdeckung der ersten 4 durch Galilei im Jahre 1610 eine der ersten Früchte des nur kurz vorher erfundenen Fernrohres war, während der fünfte wegen seiner Lichtschwäche und Nähe an seinem Hauptplaneten erst in unseren Tagen aufgefunden wurde. Demgemäß wollen auch wir uns zuerst der Besprechung der 4 älteren Jupitermonde zuwenden und erst dann auf die des fünften übergehen.

Die Auffindung der ersten 4 Monde Jupiters begründet eine sehr merkwürdige Epoche in der Geschichte der Sternkunde. Denn die erste astronomische

Auflösung des großen Problemes der Bestimmung der Länge auf der See, eine der wichtigsten und nützlichsten Aufgaben, die der menschliche Geist sich je vorgelegt hat, verdanken wir der Kenntnis dieser Monde. Auch datiert man mit Recht die eigentliche, letzte Bestätigung der Wahrheit des Kopernikanischen Systems von der Entdeckung dieser vier Himmelskörper, die uns unser eigenes Sonnensystem gleichsam im Miniaturbilde zeigen, in welchem sich die drei Keplerschen Gesetze (I, Kap. VIII) und durch sie das Gesetz der allgemeinen Schwere abspiegeln und in wenigen Monaten schon alle die periodischen Bewegungen zeigen, deren vollständige Entwickelung bei den Hauptplaneten viele Jahrhunderte erfordert. Und als ob die Natur mit einer Art von Vorliebe diese kleinen Lichtpunkte begünstigen und auf sie die interessantesten Züge der Geschichte der Sternkunde häufen wollte, so verdanken wir ihnen auch die Kenntnis der außerordentlichen Geschwindigkeit (I, § 46) des Lichtes.

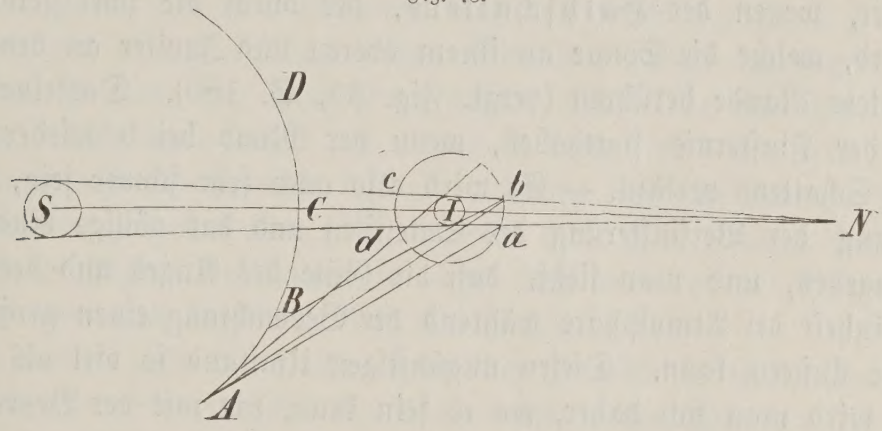
Man hat oft darüber gestritten, ob man die Satelliten Jupiters mit freiem Auge wahrnehmen könne. Versuche von Arago mit Fernrohren ohne Vergrößerung, die also nur ein vollkommenes Auge repräsentierten, ohne eigentlich dessen Kraft zu vermehren, haben zunächst gezeigt, daß dies ganz gut möglich sei, wie es denn auch wirklich vielfach behauptet wird. So erkannte beispielsweise Stoddart unter Persiens seiner Reinheit wegen berühmtem Himmel im Zwielichte die Jupiter-Satelliten ganz bestimmt mit freiem Auge; die Sichtbarkeit derselben dauerte aber immer nur die wenigen Minuten, in denen jene kleinen Gestirne bereits licht genug und der Hauptplanet noch nicht zu glänzend war, um durch seine Strahlen die Trabanten zu decken. Ebenso wissen wir auch von W. F. Denning in Bristol, daß er den III. und IV. Trabanten ohne Fernrohr wahrnimmt, wenn er die Randstrahlen Jupiters abhält. Nach Engelmann, mit dem neuere Messungen von Pickering recht gut harmonieren, gleichen die Satelliten der Reihe nach Sternen der Größen: 5·5, 5·7, 5·3 und 6·3, und es würden daher ohne die Nähe ihres Hauptplaneten wenigstens die drei ersten Monde in der That auch ganz bequem mit freiem Auge sichtbar sein. Es ist daher begreiflich, daß schon sehr mittelmäßige Fernrohre, ja selbst gewöhnliche Operngläser sie deutlich erkennen lassen.

Für die Jupitermonde schlug deren Entdecker Galilei die Bezeichnung Medicea Sidera vor, konnte aber mit diesem Vorschlage ebensowenig durchdringen, wie die Philosophical Transactions von 1688, in denen bei der Mitteilung von Verfinsterungen den drei, ihrem Zentralkörper nächsten dieser Gestirne die Namen Pallas, Juno und Themis beigelegt wurden, indem sich allgemein der Usus einbürgerte, sie von dem nächsten, an Jupiter angefangen, ihrer Entfernung nach einfach mit den römischen Ziffern I, II, III und IV zu bezeichnen. Bei der Entdeckung des 5. Jupitersatelliten wurde, namentlich von englischen Astronomen, die Frage der Benennung dieser Körper neuerdings angeregt, und wurden auch im Nautical Almanac für 1896 für sie die Namen: Jo, Europa, Ganymed und Callisto eingeführt, doch ohne, wie es scheint, in weiteren Kreisen Anklang zu finden.

§ 123. (Verfinsterungen und Vorübergänge dieser Monde.) Sei S die Sonne (Fig. 73), I Jupiter, ABC die Bahn der Erde und abcd die Bahn eines Satelliten des Jupiter, wo sich die Erde und der Satellit von West nach Ost oder in der Richtung ABC und abc bewegen. Wenn der Satellit in der Gegend ab seiner Bahn oder in der Nähe des Schattenkegels cNd ist, welchen Jupiter, von der Sonne S beschienen, hinter sich wirft, so verschwindet er unseren Blicken, sobald er in diesen Schatten tritt, und zeigt dadurch für die Bewohner des Hauptplaneten eine Mondfinsternis. Wenn aber der Satellit in der Gegend cd seiner Bahn, zwischen der Sonne und seinem Hauptplaneten steht, so wirft er seinen eigenen Schatten auf den letztern und erzeugt dadurch eine Sonnenfinsternis. Die letzteren Erscheinungen pflegt man Vorübergänge zu nennen.

Man sieht daraus, daß die Finsternisse dieser Satelliten im allgemeinen ganz analog mit denen unseres Mondes sind (vgl. I §§ 100 und 102), obschon sie sich auch wieder in einigen Nebenumständen wesentlich von ihnen unterscheiden.

Fig. 73.



Wegen der viel größeren Entfernung Jupiters von der Sonne ist nämlich der Schattenkegel, den dieser Planet hinter sich wirft, viel länger und wegen der ungemeinen Größe Jupiters auch viel breiter als der der Erde. Diese Satelliten selbst sind überdies gegen ihren Hauptplaneten viel kleiner als unser Mond gegen die Erde, ihre Bahnen sind viel weniger gegen seine Bahnebene geneigt und auch verhältnismäßig bedeutend kleiner als die Bahn unseres Mondes. Aus diesen Gründen gehen die drei ersten oder nächsten Satelliten Jupiters, so oft sie bei ab mit der Sonne, von Jupiter aus gesehen, in Opposition sind, immer durch den Schatten des Planeten, oder sie werden bei jedem Vollmonde verfinstert, und selbst der vierte muß, wenn er ja zuweilen an diesem Schatten oben oder unten vorbeigeht, den Rand desselben meistens streifen. Aber der vorzüglichste Unterschied zwischen den Finsternissen dieser Satelliten und denen unseres Mondes besteht für uns darin, daß wir jene nicht wie diese aus dem Mittelpunkte der Bewegung dieser Satelliten, sondern von irgend einem Punkte A, B, C der Erdbahn sehen, der nicht in der Richtung der geraden Linie liegt, welche die Sonne, den

Planeten und den Satelliten mit einander verbindet, so daß also die Schattenachse IN zu verschiedenen Zeiten auch eine verschiedene Lage gegen die Gesichtslinie AI, BI, CI haben wird, die von der Erde nach Jupiter geht. Dieser Umstand macht zwar keinen Unterschied in der absoluten Zeit, wann diese Mondfinsternisse anfangen und enden; denn da sie wahre Beraubungen des nur geborgten Lichtes der Satelliten sind, so müssen diese Erscheinungen aus allen Orten in demselben Augenblicke gesehen werden. Aber er hat dafür einen desto größeren Einfluß auf die Sichtbarkeit dieser Finsternisse.

Der Satellit wird nämlich verfinstert, sobald er in dem Punkte a in den Schattenkegel Jupiters tritt, kann sich aber nicht plötzlich, sondern nur allmählich unseren Blicken entziehen, da er zunächst bloß in den Halbschatten tritt, und hierauf wegen seines immerhin beträchtlichen Durchmessers nur nach und nach sich in den Kernschatten einsenkt. Die Zeit der völligen Extinktion seines Lichtes wird so groß sein als diejenige Zeit, die der Satellit braucht, in seiner Bahn einen Bogen, so groß als sein eigener Durchmesser, zu beschreiben, oder eigentlich noch etwas größer, wegen des Halbschattens, der durch die zwei geraden Linien begrenzt wird, welche die Sonne an ihrem oberen und Jupiter an dem entgegengesetzten untern Rande berühren (vergl. Fig. 34, S. 180). Dasselbe wird auch am Ende der Finsternis statthaben, wenn der Mond bei b wieder die zweite Grenze des Schattens verläßt. — Es wird also auch sehr schwer sein, den eigentlichen Anfang der Verfinsterung des Satelliten und das völlige Ende derselben genau anzugeben, und man sieht, daß die Güte des Auges und des Fernrohrs wie die Reinheit der Atmosphäre während der Beobachtung einen großen Einfluß auf dieselbe äußern kann. Diesen ungünstigen Umstand so viel als möglich zu vermeiden, wird man sich daher, wo es sein kann, nie mit der Beobachtung des bloßen Anfanges oder auch des Endes einer solchen Finsternis begnügen, sondern man wird mit demselben Fernrohre beide Momente beobachten und aus ihnen das Mittel nehmen, wo man dann die Zeit desjenigen Augenblickes erhält, zu welchem der Satellit in der Schattenachse IN oder in Opposition mit der Sonne gewesen ist.

Der bloße Anblick der Zeichnung lehrt ferner, daß diese Finsternisse alle auf der Westseite von Jupiter stattfinden, wenn die Erde selbst in A oder westlich von der Schattenachse SIN liegt, d. h. in der Zeit, die der Opposition Jupiters vorhergeht; diese letzte aber findet statt, wenn die Erde in C, oder wenn sie selbst in der Schattenachse steht. Je näher die Erde diesem Punkte C der Opposition kommt, desto näher kommt auch die Gesichtslinie Aa, Ba . . zu ihrer Koincidenz mit der Schattenachse IN, desto weniger sind beide Linien Aa und IN gegen einander geneigt, und desto näher an dem westlichen Rande Jupiters werden auch die Eintritte der Satelliten sich ereignen. Wenn die Erde in den Punkt B kommt, wo die Linie Bb, die man von der Erde nach dem Satelliten zur Zeit seines Austritts aus dem Schatten zieht, den Planeten an seinem west-

lichen Rande berührt, so finden diese Austritte, wie sie von der Erde gesehen werden, an dem Rande Jupiters selbst statt und können daher zu dieser Zeit ebenso wenig gesehen werden, wie die darauf folgenden Tage, wo diese Austritte für uns sogar hinter der Scheibe Jupiters vor sich gehen. Noch später wird man auch die Eintritte bei a nicht mehr sehen, da auch diese, von der Erde gesehen, sich hinter dem Planeten ereignen.

Vor der Opposition Jupiters also oder zu der Zeit, wo dieser Planet nach Mitternacht durch den Meridian geht, fällt der Schattenkegel desselben für uns auf die westliche, nach der Opposition aber auf die östliche Seite, daher wir dort die Eintritte der Monde auf der westlichen, hier aber die Austritte derselben auf der östlichen Seite Jupiters sehen, während uns dort die Austritte auf der östlichen und hier die Eintritte auf der westlichen Seite unsichtbar sind, indem sie uns von der Scheibe des Planeten selbst verdeckt werden. In der Mitte zwischen der Opposition und Konjunktion aber, wo Jupiter am weitesten oder 90° von der Sonne entfernt ist, und wo er daher um 6 Uhr morgens oder abends durch den Meridian geht, fällt sein Schatten auch am meisten gegen Ost oder West, und ist dort, wo die zwei äußersten Satelliten durch ihn gehen, von dem Planeten schon so fern, daß keine seiner beiden Seiten für uns von der Scheibe des Planeten bedeckt wird, daher wir also auch dann von diesen beiden Satelliten die Eintritte sowohl als auch die darauf folgenden Austritte oder die Finsternisse derselben in ihrer ganzen Dauer sehen können. Die zwei anderen Satelliten aber stehen ihrem Hauptplaneten immer so nahe, daß man vor der Opposition bloß ihre Eintritte und nach derselben bloß ihre Austritte sieht.

Anders verhält sich die Sache, wenn der Satellit in seiner Bahn zu dem Punkte c kommt, wo er zwischen der Sonne und seinem Planeten steht, und wo man ihn dann von der Erde als einen runden Fleck über die Scheibe dieses Planeten ziehen sieht, sobald er in die gerade Linie tritt, welche die Erde in A, B oder C mit dem östlichen Rande des Planeten verbindet. Dies sind Sonnenfinsternisse für die Bewohner Jupiters, während die vorher betrachteten Erscheinungen als Mondfinsternisse anzusehen waren. In der That wirft dann der Satellit in cd seinen eigenen Schattenkegel auf die ihm gegenüberstehende Oberfläche des Planeten und verdunkelt diesem dadurch das Licht der Sonne. Zu derselben Zeit sieht man denn auch einen zweiten, nahe ebenso großen dunklen Fleck auf der Oberfläche Jupiters dem Satelliten vorausgehen, wenn die Finsternis vor der Opposition Jupiters sich ereignet, oder ihm folgen, wenn sie nach der Opposition stattfindet. Dies ist der Schatten des Satelliten, der über die Oberfläche des Planeten während der Finsternis hinzieht. Fig. 1 auf Tafel VI zeigt diesen Schatten eines zwischen Jupiter und Sonne stehenden Satelliten.

§ 124. (Merkwürdige Verhältnisse zwischen den Bewegungen dieser Satelliten.) Vergleicht man die mittleren Längen der 3 dem Jupiter nächsten Monde, so findet man, daß

für jede Epoche die jovicentrische mittlere Länge des ersten oder nächsten, mehr der doppelten Länge des dritten, weniger der dreifachen des zweiten immer gleich ist 180°. Eine Folge dieser Relation ist die, daß diese 3 Satelliten nie zugleich verfinstert werden können. Denn wenn der zweite und dritte dieser Monde in demselben Punkte des Himmels, von Jupiter aus gesehen, sich befinden, so muß jenes Verhältnisses wegen der erste Mond jenen beiden gegenüberstehen; wird also dieser erste verfinstert, so müssen die beiden anderen zwischen Sonne und Jupiter liegen und daher ihren Schatten auf den Hauptplaneten werfen, und umgekehrt. Für die Erde können aber nichts desto weniger alle vier Satelliten zugleich unsichtbar werden und Jupiter ohne Mond erscheinen. Nach D'Arrest tritt diese Erscheinung, die, soviel man weiß, zuerst von Molyneux 1681 am 2. November a. St. beobachtet wurde, beiläufig alle 25 Jahre ein. Dawes sah dieselbe am 27. September 1843; sie ereignete sich wieder in den ersten Morgenstunden des 15. November 1868 und in den ersten Morgenstunden des 15. Oktober 1883.

Die eben angeführte Relation läßt sich auch so ausdrücken, daß die siderische Bewegung des ersten Satelliten mehr der doppelten des dritten gleich ist der dreifachen Bewegung des zweiten während derselben Zeit. Daraus ergiebt sich weiter, daß 247 synodische Umläufe des ersten 123 des zweiten und 61 des dritten Satelliten gleich sind, und 437 Tage 3 Stunden 40 Minuten betragen, wie zuerst Bradley erkannte.

§ 125. (Anwendung derselben auf astronomische Untersuchungen.) Der Beobachtung der Verfinsterungen der Jupitermonde verdanken wir nicht nur, wie schon früher (I, § 46) auseinandergesetzt wurde, die Kenntnis der Geschwindigkeit des Lichtes, sondern auch wenigstens eine erste genäherte Kenntnis der Entfernung Jupiters von der Sonne. Denn zur Zeit der Mitte einer jeden dieser Finsternisse ist der Satellit, aus dem Mittelpunkte Jupiters gesehen, sehr nahe in Opposition mit der Sonne, oder seine von Jupiter gesehene Länge ist gleich der heliocentrischen Länge Jupiters, die uns durch die Tafeln (I, § 83) dieses Planeten gegeben ist. Ebenso geben uns aber auch die Sonnentafeln die heliocentrische Länge der Erde für dieselbe Zeit. Man kennt daher in dem Dreiecke zwischen Sonne, Erde und Jupiter den Winkel an der Sonne, der gleich der Differenz jener beiden heliocentrischen Längen ist, und überdies, durch unmittelbare Beobachtung, auch den Winkel an der Erde; also kennt man auch (I, § 39) die Entfernung Jupiters von der Sonne in Teilen der Entfernung der Erde von der Sonne.

Endlich kann man diese Finsternisse auch sehr bequem zu Bestimmungen der geographischen Länge der Beobachtungsorte auf der Oberfläche der Erde anwenden. Da sie nämlich, so wie unsere Mondfinsternisse (I, § 100), wahrhafte Beraubungen des Lichtes sind, welches diese Satelliten von der Sonne erhalten, und welches sie, wenn sie in den Schatten ihres Hauptplaneten treten, verlieren, so muß der Anfang oder das Ende dieser Finsternisse an allen Orten der Erde in

einem und demselben Augenblicke gesehen werden. Drückt daher jeder Beobachter derselben den Anfang der Finsternis in der Zeit seines Ortes aus, so darf man nur diese Ortszeiten zweier Beobachter von einander subtrahieren, um sofort auch die Differenz der geographischen Längen beider Beobachter zu erhalten. Hätte man z. B. eine solche Finsternis zu Paris um $8^h\ 20^m\ 40^s$ und zu Wien um $9^h\ 16^m\ 50^s$ beobachtet, so würde die Differenz der Meridiane, d. h. die Differenz der geographischen Längen dieser beiden Orte $0^h\ 56^m\ 10^s$ oder $14^0\ 2'\ 30''$ sein, um welchen Bogen Wien östlicher als Paris läge. Dasselbe gilt wohl unverändert auch für unsere Mondfinsternisse: sie treten aber zu selten ein, um wenigstens zur See zu Längenbestimmungen angewendet werden zu können, während dem obigen zufolge (§ 123) die Verfinsterungen der Jupitermonde sehr häufig vorkommen. Von denselben wird man aber, wenn man genauere Resultate erhalten will, nur jene Verfinsterungen verwenden, bei denen man sowohl den Eintritt als auch den Austritt des Mondes aus dem Schattenkegel beobachtet hat.

In unseren Zeiten, wo die Theorie und die Tafeln unseres eigenen Mondes zu einer so großen Vollkommenheit gebracht worden sind, bedient man sich zu diesem für die Seefahrt so wichtigen Zwecke mit Vorteil der beobachteten Distanzen des Mondes von den übrigen Gestirnen, anderer Wege, die noch bequemer zu demselben Ziele führen, hier nicht zu gedenken. Allein zur Zeit der Entdeckung jener Satelliten, im Anfange des 17. Jahrhunderts, hatte man kein anderes Mittel, die geographische Länge zweier weit von einander entfernten Orte zu bestimmen, als eben die Finsternisse dieser Satelliten, da die unseres Mondes wie gesagt zu selten vorkommen, um auf der See von großem Nutzen zu sein.

§ 126. (Bahnelemente, Größe und physische Beschaffenheit der 4 älteren Jupitermonde.) Die Neigungen der Bahnen dieser Satelliten gegen die Bahn ihres Hauptplaneten sind sämtlich zwischen 2^0 und 3^0 enthalten: Diese Monde erscheinen uns daher immer sehr nahe in einer geraden Linie aufgestellt, deren Richtung durch den Mittelpunkt Jupiters geht, und den Streifen auf seiner Oberfläche (§ 77) parallel läuft.

Die Bahnen dieser Monde sind jedenfalls Ellipsen, deren Exentricität jedoch so gering ist, daß es erst bei den zwei äußeren Satelliten möglich wurde, die Abweichung ihrer Bahnen von Kreisen mit Sicherheit zu erkennen.

Die Größe dieser Monde wurde bereits vielfach und nach sehr verschiedenen Methoden zu ermitteln versucht. So bemühte sich bereits 1693 Cassini, den Durchmesser derselben aus der Zeitdauer zu bestimmen, welche ihr Eintreten in den Schattenkegel erfordert: ihm folgten im 18. Jahrhundert Maraldi, Whiston, Bailly, Lalande, Schröter und Harding, welche noch Beobachtungen über die Dauer ihres Eintrittes in die Jupiterscheibe bei Vorübergängen vor derselben hinzufügten, während W. Herschel auch direkte Messungen des Schattens der Satelliten auf der Scheibe des Planeten hierzu verwendete. Alle diese Versuche

stimmen verhältnismäßig gut mit den neueren Messungen überein: von den zahlreichen dieser wollen wir hier, der Vergleichung wegen, anführen die Messungen von W. Struve aus 1829 am Dorpater Refraktor; die von Engelmann aus 1871, welche aus einer Kombination von Mikrometermessungen mit Beobachtungen der Dauer des Eintrittes der Monde bei deren Vorübergängen in die Jupiterscheibe abgeleitet sind, und die Messungen von Barnard in 1894 am großen Refraktor der Lickſternwarte; ferner die indirekten Bestimmungen dieser Durchmesser von Michelson in 1891 aus Interferenzerscheinungen und die Pickering's in 1879 aus photometrischen Messungen (vergl. § 77). Die Resultate dieser Untersuchungen auf die mittlere Entfernung Jupiters von der Sonne (5·20) reduciert, lauten:

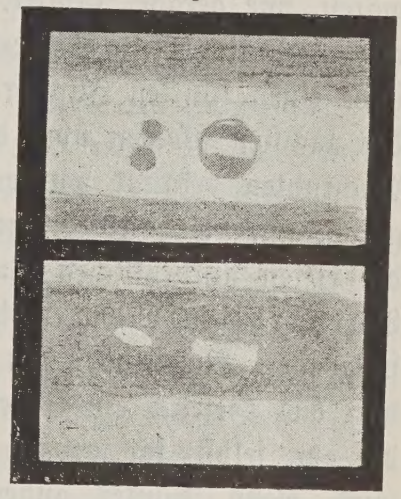
Satellit	I	II	III	IV
W. Struve	1·02″	0·91″	1·49″	1·27″
Engelmann	1·08	0·91	1·54	1·28
Barnard	1·05	0·87	1·52	1·43
Michelson	1·02	0·94	1·37	1·31
Pickering	0·92	0·87	1·10	0·65

Greifen wir unter diesen Werten die von Barnard heraus, so liefern sie für die Durchmesser der Monde der Reihe nach: 3935, 3260, 5696 und 5359 km. Danach sind der erste und zweite an Größe von unserem Monde nicht erheblich verschieden, während der dritte und vierte ihn darin an Durchmesser um etwas mehr als die Hälfte, und an Volumen etwa um das vierfache übertreffen. Ihre scheinbaren Durchmesser betragen vom Zentrum Jupiters aus gesehen: 32·3′, 16·5′, 18·1′ und 9·7′: es erscheint daher den Bewohnern Jupiters der erste Mond an Durchmesser nahe von gleicher Größe, wie uns unser Mond, der zweite und dritte etwa halb und der vierte kaum mehr als $^1/_4$ so groß. Da aber die Jupiterbewohner die Sonne nur noch unter einem Winkel von 6·2′ erblicken, sind für diese die Monde dennoch die ansehnlichsten Gestirne des Himmels, indem sie die Sonne an Oberfläche resp. um das 27, 7, 8 und zweifache übertreffen.

Die aus den Helligkeitsmessungen gefolgerten Diameter der Jupitermonde stimmen für den ersten und zweiten sehr befriedigend mit den auf andere Weise ermittelten überein, geben aber für den dritten, und namentlich den vierten eine erheblich geringere Größe. Dies weist darauf hin, daß die Albedo der beiden ersten derjenigen ihres Zentralkörpers sehr nahe gleich ist, daß aber die der anderen zwei, namentlich die des vierten beträchtlich geringer sei. Für diese Schlußfolgerungen sprechen auch Erscheinungen, die man bei den Vorübergängen dieser Gestirne vor der Scheibe Jupiters wahrnimmt. Bei solchen erscheint der vierte Mond bei seinem Eintritte am Rande der Scheibe hell, scheint beim weiteren Fortrücken zu erblassen, verschwindet endlich ganz und wird später jedoch als dunkler Fleck wieder sichtbar. Beim Austritte wiederholt sich diese Erscheinung in umgekehrter Folge. Dies rührt zum Teile daher, daß der Rand der

Jupiterscheibe eine geringere Helligkeit besitzt, als die zentrale Partie: der Mond ist daher heller als jene, aber dunkler als diese. Außerdem scheinen nach Untersuchungen von Spitta physiologische Momente den Eindruck noch zu verstärken. Der dritte Mond hebt sich seltener, und wie es scheint nur dann als dunkles Scheibchen auf Jupiter ab, wenn er über einen hellen Streifen hinwegzieht. Beim ersten und zweiten Monde hat man dunkle Vorübergänge noch nicht bemerkt, wohl aber zeigt der erste eine andere Eigentümlichkeit. Barnard sah ihn nämlich am 8. September 1890, als er in einem hellen Streifen Jupiters stand, doppelt; am 3. August 1891 hingegen, wo er einen dunklen Streifen passierte, bloß als einen schmalen weißen Streifen. Der beistehende Holzschnitt (Fig. 74) zeigt in jedem seiner beiden Felder links die eben erwähnten Erscheinungen, und rechts die Erklärung von Barnard. Der Mond besitzt nämlich, ähnlich so wie Jupiter ein helles Äquatorealband und dunkele Polarkappen. Wenn nun der Mond über einen hellen Streifen hinwegzieht, verliert sich in einem schwachen Fernrohre und bei unruhigen Bildern der Äquartorealstreifen des Mondes auf dem hellen Hintergrunde, und die dunklen Polarkappen treten als zwei vollständig getrennte dunkle Flecken hervor, welche den Satelliten als Doppelgestirn erscheinen lassen. Umgekehrt aber verschwinden auf einem dunklen Streifen die Polarkappen und es bleibt bloß das schmale Äquatorealband sichtbar.

Fig. 74.



Auf den anderen drei Monden haben Secchi, Barnard und Pickering in Arequipa ebenfalls mehrfach fleckenartige Gebilde wahrgenommen, die aber nur sehr schwer sichtbar, vielleicht auch veränderlich sind. Manche Beobachter, wie Schäberle, Holden und vornehmlich Pickering haben an diesen Monden auch wiederholt eine, öfter sogar periodisch wiederkehrende elliptische Gestalt zu bemerken geglaubt, während Barnard sie stets rund sah, und die scheinbaren Deformationen aus den Flecken auf ihrer Oberfläche zu erklären sucht. Übrigens scheinen bei dem Schätzen der Gestalt von so kleinen Körpern persönliche Fehler, wie Astigmatismus des Auges u. dergl. eine sehr bedeutende Rolle zu spielen, wie denn auch beispielsweise die Ellipticität der Uranusscheibe (§ 91) von mehreren Seiten ebenso bestimmt behauptet, als von anderen negiert wird. Am vierten Satelliten haben Engelmann und Flammarion periodisch eintretende Helligkeitsschwankungen bemerkt, die darauf zu deuten scheinen, daß bei diesem Monde, ebenso wie bei dem unsrigen die Dauer seiner Revolution der seiner Rotation gleich sei.

Zum Schlusse wollen wir noch mit ein paar Worten einer zuerst von Barneby im Jahre 1861 bemerkten und richtig gedeuteten, später aber wieder

verschollenen Erscheinung gedenken, bis die Astronomen der Licksternwarte neuerdings auf sie aufmerksam machten. Sie besteht darin, daß die Schatten der Jupitermonde bei Vorübergängen derselben, welche außerhalb der Opposition in der Nähe der Quadraturen eintreten, infolge der Kugelgestalt Jupiters und der schiefen Richtung der Visurlinie von der Erde zum Schattenkegel, nur auf der Mitte der Jupiterscheibe kreisförmig, an den Rändern aber elliptisch erscheinen, und daß nach den Rechnungen von Schäberle bei dem vierten, entferntesten Satelliten die große Achse dieser Ellipse sogar mehr als doppelt so lang werden kann als die kleine.

§ 127. (Entdeckung, Größe u. s. w. des fünften Jupitermondes.) Nach der Entdeckung der bisher besprochenen vier Jupitermonde, die, wie eingangs erwähnt wurde, wegen ihrer bedeutenden Helligkeit unmittelbar nach der Erfindung des Fernrohres erfolgte, verlautete durch mehr als ein Vierteljahrtausend nie etwas von weiteren Monden, obwohl es wenig Objekte am Himmel geben dürfte, welche so häufig und intensiv mit den besten und stärksten optischen Hilfsmitteln erforscht worden wären, wie gerade Jupiter. Die astronomische Welt war daher nicht wenig überrascht, als sich Mitte September 1892 auf einmal die Kunde verbreitete, Barnard habe einen fünften Jupitermond entdeckt, und noch mehr darüber, als im Laufe der nächsten Wochen über diesen doch so hochinteressanten Fund gar keine weiteren Nachrichten bekannt wurden. Man fing deshalb, wenigstens in Europa, nachgerade an, die ganze Sache für eine Mystifikation zu halten, als Mitte Oktober die ersten authentischen Nachrichten über diese Entdeckung einliefen, nach denen Barnard den Mond wohl bereits am 9. September bemerkt, infolge von aufsteigendem Nebel aber erst am folgenden Abende mit Sicherheit konstatiert hatte, daß das Gestirn ein Satellit Jupiters sei. Derselbe ist jedoch so lichtschwach, daß er selbst im großen Refraktor der Licksternwarte oft erst dann erkennbar wird, wenn Jupiter außer das Gesichtsfeld tritt, oder hinter eine etwas angeräucherte Glimmerplatte gestellt wird, die im Okular so angebracht ist, daß sie einen Teil des Gesichtsfeldes deckt.

Nach den Schätzungen von Barnard hat dieser Mond höchstens die Helligkeit eines Sternes 13. Größe: nimmt man also an, daß seine Albedo der Jupiters gleich ist, so beläuft sich sein Durchmesser kaum auf 160 km; er ist daher neben den Marsmonden der bei weitem kleinste unter den bisher bekannten Satelliten. Seine Entfernung vom Centrum Jupiters beträgt bloß 2·55 Halbmesser desselben; er steht daher seinem Centralkörper noch näher als Phobos dem Mars. Seine Bahn ist merklich excentrisch: wegen seiner Nähe an Jupiter und der starken Abplattung desselben ist die Apsidenlinie in einer raschen Drehung begriffen, indem sie nach Tisserand jährlich nahezu $2^1/_2$ Umläufe zurücklegt.

Die Entdeckung dieses Mondes hat auch die Frage angeregt, ob nicht vielleicht außer demselben noch andere vorhanden sind. Nimmt man an, daß zwischen den Entfernungen der Satelliten eines Planeten eine ähnliche Relation bestehe,

wie die von Titius-Bode (§ 65) zwischen den Hauptplaneten, und setzt man nach Gaussin für das Jupitersystem die Halbachse a_n eines Satelliten:

$$a_n = 1{\cdot}336 \times 1{\cdot}6425^n,$$

so erhält man

für	n = 1	2	3	4	5	6
a_n berechnet	2·20	3·60	5·92	9·72	15·97	26·23
a_n beobachtet	2·55	—	5·94	9·45	15·09	26·53

Von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet, könnte man noch das Vorhandensein eines 6. Satelliten mit einer Umlaufszeit von etwa einem Tage zwischen Barnards Monde und Galileis erstem vermuten.

§ 128. (Anblick des Himmels von den Monden Jupiters.) Ohne uns bei der Beschreibung des Anblickes aufzuhalten, den die Monde den Bewohnern Jupiters gewähren mögen, wollen wir nur mit einigen Worten des Genusses erwähnen, welchen Jupiter selbst den Bewohnern der Satelliten darbietet. Die Bewohner des Barnard'schen Mondes sehen Jupiter unter einem Durchmesser von 46°; er nimmt daher, wenn er auf- und untergeht, den achten Teil des Horizontes ein, und es reicht der obere Rand der Scheibe, wenn der untere eben den Horizont berührt, bis zur Hälfte des Himmelsgewölbes hinan. Welch' ein Schauspiel mag es nun für die Bewohner dieses Satelliten sein, eine unserem Monde ähnliche Scheibe von diesen riesigen Dimensionen mit denselben regelmäßig abwechselnden Lichtgestalten an den Gestirnen des Himmels vorüberziehen zu sehen?

Aber auch auf den anderen Monden erscheint Jupiter noch von einer gewaltigen Größe. Die Bewohner des ersten dieser sehen ihn unter einem Durchmesser von 20°, also 37 mal größer im Durchmesser und 1370 mal größer in der Oberfläche als wir den Mond: für diesen Satelliten kann daher sein Hauptplanet noch immer das ganze große Sternbild des Orion verdecken. Auch auf den übrigen 3 Satelliten erscheint Jupiter in Beziehung auf seine Oberfläche 620, 240 und 78 mal größer, als uns die Oberfläche des Mondes.

Der Eindruck, den ein so gewaltiger Körper am Himmel schon an und für sich hervorbringen muß, wird für die Bewohner der Jupitersmonde aber noch dadurch erheblich gesteigert, daß ihnen die Sonne, der hellste und zweitgrößte Himmelskörper, in der Oberfläche 27 mal kleiner erscheint als uns: für sie erscheint daher die Oberfläche Jupiters resp. 190 000-, 37 000-, 14 600-, 5800- und 1800 mal größer, als die Oberfläche der Sonne.

III. Satelliten der übrigen Planeten.

§ 129. (Entdeckung, Größe u. s. w. der Saturnmonde.) Die acht Monde Saturns wurden erst im Laufe von nahe zwei Jahrhunderten entdeckt, und zwar in einer Reihenfolge, die sich selbstverständlich nach ihrer Wahrnehmbarkeit und nach den

Fortschritten der Optik richtete. Die Bezeichnung dieser Himmelskörper wie der Jupiter-Satelliten mit Zahlen, die ihren Entfernungen vom Hauptplaneten entsprechen, ging daher in die Länge hier nicht an, da jede neue Entdeckung eine Störung jener Ordnung brachte, und so fand die von Sir John Herschel vorgeschlagene besondere Benennung jedes dieser Gestirne nach Geschwistern des Kronos und Nachkommen anderer Titanen bald allgemeinen Eingang. Geordnet nach der Reihenfolge ihrer Entfernung von Saturn an gezählt, sind diese Satelliten:

					Mittl. Opp. Helligkeit		Durchmesser in Kilom.
1. Mimas	entdeckt von	W. Herschel	17. Septbr.	1789	12·8	Größe	513
2. Enceladus	= =	=	29. August	1789	12·3	=	635
3. Tethys	= =	D. Cassini	März	1684	11·4	=	989
4. Dione	= =	=	=	1684	11·5	=	941
5. Rhea	= =	=	23. Dezemb.	1672	10·8	=	1295
6. Titan	= =	Huyghens	25. März	1655	9·4	=	2443
7. Hyperion	= =	Bond	16. Septbr.	1848	13·7	=	330
		Lassell	18. =				
8. Japetus	= =	D. Cassini	Oktober	1671	11.8	=	843

Zwischen Japetus und Titan bestand, wie man aus den Tabellen am Ende unseres Werkes ersieht, vor der Entdeckung von Hyperion eine durch diese Entdeckung wohl etwas, aber nicht erheblich verkleinerte große Lücke, die schon Huyghens zu ähnlichen Mutmaßungen veranlaßte wie die Lücke in der Reihe der Hauptplaneten zwischen Mars und Jupiter, welche eben durch die Asteroiden ausgefüllt wurde. Sir John Herschel argumentierte aus der Kleinheit von Hyperion, der noch schwächer als Mimas und nur wegen der größeren Entfernung von Saturn leichter sichtbar ist als dieser, für weitere Analogien der beiden Fälle, also für die Möglichkeit mehrerer dem Hyperion nahen Satelliten, die aber bisher nicht gefunden wurden.

Die Helligkeit von Japetus, dem entferntesten Trabanten, ist veränderlich und schwankt nach Pickering zwischen der eines Sternes 11·5 und 12·8 Größe. Infolgedessen verschwand er seinem Entdecker Cassini stets 2 bis 3 Tage nach der oberen Konjunktion, und erschien erst wieder 2 bis 3 Tage nach der unteren. Erst W. Herschel verlor ihn in keinem Punkte seiner Bahn aus den Augen und stellte fest, daß er am hellsten 68° bis 129° nach der unteren Konjunktion erglänzt, und am schwächsten 7° nach der Opposition bis gegen die untere Conjunktion ist. Aus diesem Verhalten ergiebt sich, daß Japetus höchst wahrscheinlich ebenso wie unser Mond sich in derselben Zeit um seine Achse dreht, in der er einen Umlauf um seinen Centralkörper vollendet, so daß dieses Verhältnis bei mehreren, vielleicht auch allen Satelliten unseres Sonnensystems wiederzukehren scheint.

Von dem weitaus hellsten und für uns zugleich ältesten Satelliten Titan ist es im Jahre 1894 Barnard gelungen, den Durchmesser am großen Refraktor der Licksternwarte durch direkte Messungen zu bestimmen. Er fand ihn in der mittleren Entfernung Saturns 0·59″, was auf eine wahre Größe von 4060 km führt, wonach Titan etwas größer als unser Mond ist. Die Masse desselben berechnet Tisserand aus der Änderung der Lage der Knotenlinie der Bahn des Japetus auf $^1/_{11000}$ und Newcomb aus dem Betrage der retrogrenden Bewegung des Perisaturniums von Hyperion auf $^1/_{12500}$ der Saturnmasse: dies mit dem obigen Durchmesser zusammengehalten ergiebt für die Dichte Titans etwa die doppelte von Saturn.

Die scheinbaren Helligkeiten der Saturnsmonde sind oben nach den Bestimmungen von Pickering angesetzt: die teilweise sehr geringe Größe derselben macht es begreiflich, daß selbst noch W. Herschel Mimas und Enceladus, die dem Hauptplaneten nächsten Satelliten, mit seinen riesigen Teleskopen bloß zu einer Zeit auffinden konnte, wo der Ring Saturns beinahe verschwunden war und wie eine feine Silberschnur erschien, die jene beiden Trabanten auf einige Stunden gleich äußerst kleinen Perlen begrenzten, um sich rasch wieder hinter dem Ringe zu verbergen.

Die oben als letzte Kolumne beigefügten Durchmesser sind unter der Voraussetzung berechnet, daß die Albedo der Monde der ihres Planeten gleichkomme, was aber für Titan wenigstens nicht der Fall zu sein scheint, da die direkte Messung Barnards den Durchmesser desselben erheblich größer ergiebt, was auf eine geringere Albedo schließen läßt. Da überdies dem obigen zufolge die Lichtstärke von Japetus veränderlich ist, dürfte die photometrische Bestimmung der Größe der Saturnsmonde überhaupt sich keiner großen Sicherheit erfreuen: jedenfalls aber läßt sie erkennen, daß von Titan abgesehen, keiner der anderen Satelliten auch nur annähernd die Größe unseres Mondes erreicht.

Die Bahnen der Monde liegen mit Ausnahme der von Japetus nahe in der Ebene der Ringe: ihre Neigungen gegen die Bahnebene Saturns sind daher viel beträchtlicher als bei den Monden Jupiters, indem sie bis gegen 30° ansteigen. Die Satelliten werden daher selten von ihrem Centralkörper verfinstert und projicieren sich für uns ebenso selten auf der Scheibe desselben. Im letzteren Falle hat man den Schatten von Titan schon öfter auf Saturn gesehen, und es glückte auch 1862 Dawes und Chacornac, hierauf 1877 Barendell und 1892 Terby sogar zweimal, bei solchen Vorübergängen Titan selbst als mattes Scheibchen auf der Saturnskugel vorüberziehen zu sehen. Nach Terby war der Anblick sehr ähnlich dem eines Vorüberganges des III. Satelliten von Jupiter; doch glaubt er dabei einige Erscheinungen wahrgenommen zu haben, die auf Flecken auf der Oberfläche des Mondes hindeuten.

Bei diesen Satelliten zeigen sich ebenfalls ähnliche Verhältnisse in den Umlaufszeiten, wie sie oben bei den Jupitersmonden erwähnt wurden. Es fand

nämlich J. Herschel, daß die Umlaufszeit des ersten Trabanten Mimas die Hälfte der des dritten Thetys, und die Umlaufszeit des zweiten Enceladus die Hälfte von der des vierten Dione beträgt. D'Arrest vervollständigte diese Bemerkung durch den Nachweis, daß 494 Umläufe des ersten dieselbe Zeit, nämlich 465 Tage 18 Stunden, erfordern wie 340 Umläufe des zweiten: es stehen daher nach je $465^3/_4$ Tagen Mimas, Enceladus, Thetys und Dione unter einander und in Bezug auf Saturn und Sonne an derselben Stelle, nachdem sie der Reihe nach 494, 340, 247 und 170 Revolutionen vollendet haben.

Eine noch wichtigere Beziehung ist die, daß die dreifache Umlaufszeit Hyperions der vierfachen Titan's sehr nahe gleich kommt. Dies bewirkt, daß, wie zuerst A. Hall aus seinen Beobachtungen, und darauf gestützt Newcomb theoretisch nachwies, das Perisaturnium von Hyperion jährlich eine retrograde Bewegung von rund 20° ausführt. Endlich hat H. Struve außer den oben angeführten noch zwei weitere Beziehungen zwischen Mimas und Thetys einerseits und zwischen Enceladus und Dione andererseits aufgefunden, welche sowohl für die Theorie des Saturnsystemes, wie auch im allgemeinen als merkwürdige Gesetzmäßigkeiten zwischen Himmelskörpern von Interesse sind. Er drückt diese Beziehungen folgendermaßen aus:

1. Die Conjunktionen von Mimas und Thetys finden stets um den Punkt statt, der sich in der Mitte zwischen dem aufsteigenden Knoten ihrer Bahnen auf dem Saturnsäquator befindet. Sie können sich von diesem Punkte aus fast um 48° entfernen und führen diese Libration in 68 Jahren aus.

2. Die Conjunktionen von Enceladus und Dione oscillieren für alle Zeiten um das Perisaturnium von Enceladus.

Aus diesen beiden Gesetzen kann man als Masse ableiten für Mimas: $^1/_{11500000}$, für Thetys: $^1/_{767000}$ und für Dione $^1/_{52800}$ der Saturnsmasse.

§ 130. (Satelliten von Uranus.) Dem Uranus schrieb man nach W. Herschel, der zuerst 2 seitdem vielfach konstatirte Satelliten dieses Planeten erkannte, durch mehr als 50 Jahre 6 Trabanten zu, von denen aber 4 selbst bei viel günstigeren atmosphärischen Verhältnissen, als deren sich England erfreut, und mit mächtigeren optischen Hilfsmitteln, als die Herschel's waren, nie wieder gesehen wurden. In der Mitte unseres Jahrhunderts hingegen entdeckte Lassell auf Malta 2 weitere Satelliten, die näher am Hauptplaneten stehen als die letzterwähnten vermeintlichen 4 inneren Herschel'schen Satelliten. Wir haben uns also einstweilen Uranus mit 4 Trabanten ausgestattet zu denken, nämlich:

Titania, Oberon } entdeckt von W. Herschel den 11. Jänner 1787.

Ariel, Umbriel } = = Lassell = 24. Oktober 1851.

Die Namen erhielten diese Himmelskörper von J. Herschel zu Ehren von Shakespeare und Pope. Für die beiden erstgenannten hat Pickering eine

mittlere Oppositionshelligkeit von 14·2 und 14·4 Größe gefunden, was unter der Annahme, daß die Albedo der Monde der ihres Hauptplaneten gleich sei, auf Durchmesser von 942 und 875 km schließen läßt.

Ariel und Umbriel, die sich nie über beziehungsweise 15″ und 20″ von Uranus entfernen, gehören übrigens zu den schwerst sichtbaren Objekten, wenn sie gleich dadurch, daß sie überhaupt noch sichtbar sind, zu der Vermutung einer immerhin beträchtlichen Größe veranlassen. Umbriel und wahrscheinlich auch Ariel sind trotzdem von H. C. Vogel in einem Refraktor von 24 cm gesehen worden; ferner hat Prof. Holden in Washington zu zeigen gesucht, daß Ariel und Umbriel auch schon von W. Herschel beobachtet, aber nicht als Satelliten erkannt wurden.

Die nach Newcomb kreisförmigen Bahnen dieser Monde liegen alle in derselben Ebene und stehen auf der Uranusbahn nahe senkrecht. Wenn daher auch hier, wie es bei Jupiter und Saturn der Fall ist, die Bahnen der Satelliten beiläufig mit dem Äquator ihres Hauptplaneten zusammenfallen, so würde die Schiefe der Ekliptik bei Uranus nahe ein rechter Winkel sein und daher auf ihn die oben (I, § 37) gegebene Bemerkung unmittelbar angewendet werden können. D'Arrest hat auch bei diesen Satelliten eine eigentümliche Relation aufgefunden, vermöge welcher bei einer uranozentrischen Konjunktion der beiden inneren Satelliten gleichzeitig eine Konjunktion der beiden äußeren mit einander nur in einem einzigen bestimmten Punkt der Länge stattfinden kann. Es kann daher auch eine Konjunktion aller vier Satelliten überhaupt nur in diesem einen Punkte und sonst nirgends zustande kommen.

Der Sammelname Georgian Satellites, welchen W. Herschel für die Uranusmonde einführen wollte, hat ebenso wenig Platz gegriffen wie die ähnlichen Vorschläge Galilei's und Cassini's Medicea Sidera und Lodovicea Sidera für die Trabanten von Jupiter und Saturn.

§ 131. (Satellit von Neptun.) Für Neptun haben wir bisher nur einen Satelliten mit Sicherheit aufzuweisen, den Lassell am 10. Oktober 1846 entdeckte. Die Bahn desselben bildet mit der Bahn Neptuns einen bedeutenden Winkel, und ist nach Newcomb kreisförmig. Nach Pickering beläuft sich seine Helligkeit auf die eines Sternes 13·8 Größe und sein Durchmesser auf 3630 km.

Einen zweiten Trabanten glaubte Lassell am 14. August 1850 zu sehen, fand aber diese Beobachtung später nicht bestätigt. Seither hat am 24. Oktober 1892 Schäberle bei ganz ungewöhnlich klarer Luft am großen Refraktor der Lickstернwarte ein an der Grenze der Sichtbarkeit stehendes Sternchen in der Nähe Neptuns bemerkt, das wegen der Bewegung, welche es innerhalb $1^h\ 40^m$ zeigte, ein zweiter Trabant Neptuns gewesen sein kann, der aber bisher nicht wiedergesehen wurde.

Asaph Hall giebt für die Sichtbarkeit der Trabanten von Uranus und Neptun folgenden Maßstab. Der in einer Distanz von 3′ nördlich vorangehende Begleiter von Regulus (α Löwe) hat selbst einen kleinen Akolythen.

Ein Fernrohr, das diesen letzteren zeigt, läßt sicher auch die zwei äußeren Uranus-Satelliten und den Neptuns-Trabanten erkennen. Wer den Begleiter des Sternes *A* Löwe (5. Gr.) sieht, nimmt auch die zwei inneren Uranus-Satelliten wahr.

§ 132. (Eventuelle Monde von Merkur und Venus.) Die Auffindung der Marsmonde hat neuerdings die Frage angeregt, ob denn Merkur und Venus, jetzt die beiden einzigen unter den größeren Planeten, von denen wir keine Monde kennen, wirklich mondlos seien, oder ob uns nicht vielmehr deren Satelliten bisher bloß ihrer Lichtschwäche wegen entgangen seien.

Was nun Merkur betrifft, so ist er bekanntlich unter den größeren Planeten der kleinste (§ 35) und gehört auch zu den verhältnismäßig schwach leuchtenden Körpern dieser Gruppe. Wenn daher Merkur auch wirklich einen oder mehrere Satelliten besitzen sollte und dieselben auch nur annähernd in einem ähnlichen Größenverhältnisse zu ihrem Hauptplaneten stehen wie die Marsmonde, so werden wir sie zunächst ihres geringen Durchmessers wegen bei den ziemlich häufigen Vorübergängen Merkurs vor der Sonne (§ 41) nie auf der Sonnenscheibe wahrnehmen können, wie denn auch thatsächlich noch nie verlautet hat, daß bei einer derartigen Gelegenheit ein Merkurmond gesehen worden sei. Allein auch außerhalb der Sonnenscheibe, also überhaupt eventuelle Merkurmonde auffinden zu können, ist wegen seiner sehr ungünstigen Sichtbarkeitsverhältnisse (§ 37), in unseren Gegenden wenigstens, sehr wenig Hoffnung vorhanden. Denn außer am Tage mit starken Fernrohren ist Merkur stets nur in der hellen Dämmerung und tief am Horizonte sichtbar, wo die Dünste des letzteren die Wahrnehmung jedes schwachen Objektes in der Nähe Merkurs so gut wie unmöglich machen.

Etwas anders liegen die Verhältnisse bei Venus. Hier will man von der Mitte des 17. bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts bereits vielfach einen Venusmond gesehen haben. Doch beruht, wie Stroobant nachgewiesen (§ 48), ein Teil dieser Wahrnehmungen auf Verwechselungen mit Fixsternen, denen Venus in ihrem Laufe nahe kam; einige andere können sich auch auf ein oder den anderen hellen Asteroiden beziehen, der damals zufällig bei Venus stand, der Rest aber verdankt zweifellos optischen Täuschungen seine Entstehung, da man seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts trotz der riesigen Verbesserung unserer optischen Hilfsmittel nie wieder eine Spur dieses vermeintlichen Venusmondes gesehen hat. Lassen wir daher diese Berichte ganz beiseite, so folgt aus den klassischen photometrischen Untersuchungen von Pickering, daß sich ein Venusmond unseren bisherigen Nachforschungen nicht wohl hätte entziehen können, wenn seine Lichtstärke auch nur ein Viertelmilliontel der Lichtstärke von Venus betrüge. Wenn nun seine Albedo nicht beträchtlich geringer wäre als die der Venus, zu welch letzterer Annahme uns gar nichts berechtigt, so würde schon der Durchmesser eines solchen Mondes kleiner sein als der eines der beiden Marstrabanten und uns selbst bei der größten Annäherung der Venus nur unter einem Winkel von 0.03″ erscheinen.

Kapitel XIII.

Kometen.

§ 133. (Anzahl der Kometen.) Neben den Planeten und ihren Satelliten, die wir bisher betrachtet haben, giebt es noch eine große Anzahl anderer Himmelskörper, die Kometen, die sich ebenfalls um die Sonne bewegen, aber von den Planeten schon auf den ersten Blick durch ihre Gestalt unterscheiden und lange Zeit ein Gegenstand der Besorgnis für die Menschen waren, da man sie für außerordentliche Vorzeichen von dem Zorne des Himmels hielt.

In den früheren Zeiten, wo man noch keine Fernrohre hatte, wurden nur diejenigen Kometen bemerkt, die man mit freiem Auge sehen konnte, und auch von diesen nur die größeren der Verzeichnung in den Chroniken würdig gehalten. Außerdem halten sich viele dieser Körper zu der Zeit, in der sie in die Nähe der Erde herabsteigen, nur unter den Fixsternen des südlichen Himmels, in der Nähe des Südpoles unseres Äquators auf, konnten also von den Bewohnern Europas nicht gesehen werden. Wieder andere durchliefen, wenn sie der Erde nahe kamen, nur solche Sternbilder, in deren Nähe sich die Sonne aufhielt; sie waren also nur bei Tage über dem Horizonte und konnten aus dieser Ursache nicht bemerkt werden. Viele andere endlich mochten nur zur Zeit trüber Witterung, bei bedecktem Himmel erscheinen, und mußten deswegen ebenfalls unbeobachtet bleiben. Trotzdem erwähnen unsere Geschichtsbücher nahe 500 Kometen, die sich der Erde gezeigt haben. Endlich muß noch hervorgehoben werden, daß die meisten dieser Gestirne so klein und lichtschwach sind, daß sie dem unbewaffneten Auge überhaupt gänzlich entgehen: es vergeht daher jetzt nicht leicht ein Jahr, in welchem nicht mehrere teleskopische Kometen aufgefunden und längere Zeit hindurch beobachtet werden. Wenn unsere Vorgänger ebenso begünstigt gewesen wären, wie viele Kometen würden wir jetzt schon in den 6000 Jahren, um welche etwa die Geschichte des Menschengeschlechtes zurückreicht, kennen gelernt haben? Man wird daher Keplers Ausspruch, daß es so viele Kometen gäbe, wie Fische im Meere, kaum für übertrieben halten.

§ 134. (Neigung der Kometenbahnen gegen die Ekliptik.) Wir haben bereits öfter erwähnt, daß die Bahnen der Planeten, wenigstens die der ältern, durchaus eine kleine Neigung gegen die Ekliptik haben, und daß sie sich alle nur nach einer Richtung, von West gen Ost, bewegen. Beides ist bei den Kometen nicht der Fall. Diese bewegen sich in allen möglichen Richtungen um die Sonne, und die Neigungen ihrer Bahnen umfassen alle Winkel von Null bis zu 180°.

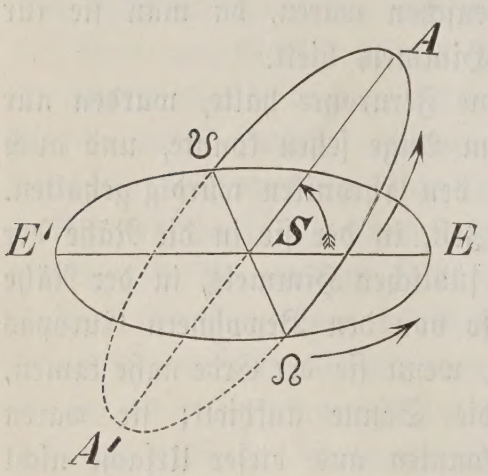
Um unnütze Wiederholungen zu vermeiden, wollen wir gleich hier die Zählweise der Neigung der Kometenbahnen gegen die Ekliptik ausführlicher erörtern.

Wenn man sich (Fig. 75) die Ebene AA′ bei festbleibender Durchschnittslinie Ω ♈ um die unveränderliche Ebene EE′ so gedreht denkt, daß der Neigungswinkel ASE beider Ebenen immer größer und größer wird, so wird er endlich

wie in Fig. 76 einen rechten Winkel übersteigen und schließlich auf 180° anwachsen.

Gegen eine derartige Auffassung machten aber die älteren Geometer geltend, daß die Neigung zweier Ebenen eigentlich einen rechten Winkel (90°) nie übersteigen könne, und ließen daher im letzteren Falle (Fig. 76) den mehr als 90° betragenden Winkel ASE nicht als Neigung gelten, sondern nahmen dafür den Nebenwinkel ASE' an, der jetzt natürlich kleiner als 90° ist.

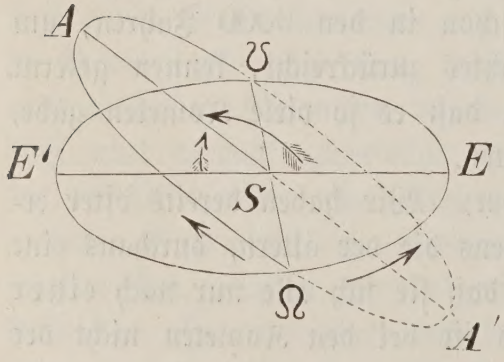
Fig. 75.



Dieser Anschauungsweise akkomodierten sich auch die früheren Astronomen. Um aber zwei Kometenbahnen AA', wie Fig. 75 und 76, welche nach dieser Zählweise beide, sagen wir 30° Neigung gegen die Ekliptik EE' hätten, von einander zu unterscheiden, mußte man ein anderes Merkmal hereinziehen, das mit der ganzen Sache im Grunde gar nichts zu thun hat.

Läßt man nämlich in Fig. 75 die Richtung der Pfeile die Bewegungsrichtung der Erde und die eines Kometen mit mäßiger Neigung sein, so wird bei einer successiven Zunahme dieser Neigung der Kometenbahn über 90° hinaus die Bewegung des Kometen, wie Fig. 76 deutlich zeigt, der Bewegung der Erde und infolgedessen der aller übrigen Planeten entgegengesetzt zu werden scheinen. Diesen Umstand nun griff man auf und nannte derartige Kometen retrograd zum Unterschiede von Kometen mit Neigungen unter 90°, welche man als direkt bezeichnete. Es ist daher eine Neigung von 30° retrograd gleichbedeutend mit einer Neigung von 150°. Erst Gauß machte im Anfange unseres Jahrhunderts in seiner berühmten Theoria motus auf die Inkongruenzen dieser Zählweise aufmerksam und führte die oben erwähnte, einzig naturgemäße von 0° bis 180° ein, bei welcher die Unterscheidung zwischen retrograd und direkt als überflüssig wegfällt. Diese Zählweise ist daher auch in der That von den Astronomen nach und nach allgemein angenommen worden und jetzt in der Gelehrtenwelt die allein gebräuchliche. Nur in populären Astronomien und in den Verzeichnissen der berechneten Kometenbahnen hat sich bisher die ältere Zählweise erhalten; wir haben aber in diesem Werke mit dieser Gewohnheit zu brechen begonnen und ausschließlich

Fig. 76.



die neuere Gauß'sche Zählweise der Neigungen von 0° bis 180° angewendet, wollen aber hier nochmals betonen, daß Neigungen über 90° solchen Kometenbahnen angehören, die man früher als retograd bezeichnete.

§ 135. (Gestalt und Größe der Kometen.) Die kleineren teleskopischen Kometen stellen sich in der Regel als eine blasse, nach außen hin verwaschene Nebelmasse von mehreren Bogenminuten Durchmesser, die sogenannte Koma, dar, die in ihrem Inneren meistens eine nicht selten excentrisch liegende kernartige Verdichtung aufweist. Diese Verdichtung steigert sich zuweilen bis zu einem kleinen hellen, fixsternartigen Kerne, während andererseits hin und wieder auch mehrere Verdichtungsknoten auftreten, so daß das Ganze ein granuliertes Aussehen erhält.

Hellere Kometen zeigen außer der Koma und dem Kerne noch einen Schweif, oder wenigstens einen schweifartigen Fortsatz. In diesem Falle umgiebt die Koma den Kern meistens in einer kugelförmigen, auf der Seite des Schweifes verlängerten oder geöffneten Gestalt, und gewöhnlich so, daß der Kern an seiner nächsten Grenze von einer dunkleren Einfassung, und erst in einer größeren Entfernung von jener lichten Hülle umflossen erscheint. Bei mehreren Kometen hat man auch zwei und selbst drei solche hellere Ringe gesehen, die durch dunklere von einander getrennt waren, wo dann das Ganze das Aussehen gewinnt, als ob der eigentliche Körper, der Kern des Kometen, von mehreren konzentrischen, von einander getrennten, hellen Kugelschalen umgeben wäre. Der Schweif ist übrigens zuweilen durch einen dunkeln Zwischenraum von der Koma getrennt, wie dies z. B. bei dem Kometen 1873 IV der Fall war. (Die Zählung nach der Zeit der Sonnennähe zu verstehen.) Schon Apian (Bienewitz) stellte 1531 die Behauptung auf, daß der Schweif immer in der Verlängerung derjenigen geraden Linie liege, welche die Sonne mit dem Kometen verbindet. Nach E. Biot sollen die Chinesen schon viel früher diese Eigenschaft der Kometenschweife gekannt haben. Aber davon ist eigentlich nur wahr, daß der Schweif meistens auf der von der Sonne abgewendeten Seite des Kometen steht. Denn oft ist er gegen jene Linie sehr stark, bis zu einem rechten Winkel geneigt, und zwar dann immer nach derjenigen Gegend hin, welche der Komet in seinem Laufe so eben verlassen hat. Da diese Neigung des Schweifes gegen das Ende desselben zuzunehmen pflegt, so erscheint er uns meistens gekrümmt, und zwar so, daß seine konkave Seite nach derjenigen Gegend hin gerichtet ist, von welcher der Komet eben kommt, sowie auch die konkave oder innere Seite des Schweifes meist weniger hell und scharf begrenzt erscheint als die äußere, konvexe Seite desselben. Der Schweif liegt auch keineswegs immer in der Bahnebene, wie zuerst Valz an mehreren Kometen, und besonders Schiaparelli an dem Kometen 1862 III nachgewiesen.

Man hat weiters auch bereits mehrfach Kometen beobachtet, welche zwei, drei und selbst mehr Schweife hatten, die meistens alle nahe nach derselben Gegend gerichtet waren. So hatte der Komet vom Jahre 1744 sechs, nach einigen sogar

sieben Schweife, oder richtiger gesagt, sein Schweif war in sechs Teile gespalten, die sich vom Kopf weg fächerartig ausbreiteten, und von denen jeder 4° breit und 30° bis 40° lang war. In unserem Jahrhundert hat man auch schon an mehreren Kometen zwei Schweife bemerkt, die einander fast diametral gegenüberstanden, so daß der eine der Sonne zugekehrt und der andere von ihr abgekehrt war. Diese höchst auffallende Erscheinung wurde zuerst von Olbers an dem sonderbaren Kometen von 1823 wahrgenommen; in neuerer Zeit zeigten etwas ähnliches die Kometen 1850 I und 1851 IV.

Auffallend sind außerdem äußerst heftige Bewegungen, die man fast in allen größeren Schweifen bemerkt, und die in ruckweisen Verlängerungen und Verkürzungen derselben bestehen, vermöge deren sie sich oft in einer einzigen Sekunde um Millionen von Kilometern auszudehnen oder zusammenzuziehen scheinen. Der Grund dieser Erscheinung kann übrigens nur in Strömungen der höheren Schichten unserer Atmosphäre gesucht werden. Neben diesen bloß scheinbaren Veränderungen kommen aber im Kopfe und Schweife von Kometen, namentlich solchen, die in ihrem Perihele der Sonne nahe kommen, auch sehr rasche, wirkliche Veränderungen vor, welche später ausführlicher werden besprochen werden.

Auf welche Weise, und durch welche Mittel auch die Schweife entstehen mögen, so kann man die Ursache derselben doch nur in der Sonne suchen. Denn sie fangen immer erst dann an sich zu bilden, wenn der Komet der Sonne näher kommt; sie wachsen mit dieser Annäherung, erreichen ihre größte Ausdehnung einige Zeit nach dem Durchgange durch das Perihelium, und nehmen mit der Entfernung des Kometen von der Sonne wieder allmählich ab.

Die meisten größeren Kometenschweife erscheinen in ihrer Mitte der Länge nach durch einen dunklen, breiten Streifen geteilt, wodurch sie das Ansehen erhalten, als ob sie doppelt wären. Die älteren Astronomen hielten diesen dunklen Streifen für den Schatten, welchen der auf seiner vordern Seite von der Sonne beschienene Kern hinter sich wirft. Allein diese Meinung ist unrichtig, da man diese Streifen auch bei jenen Kometen bemerkt, deren Schweife sehr große Winkel mit derjenigen Linie bilden, die den Kometen mit der Sonne verbindet, auf welcher letztern Linie doch jener Schatten immer liegen müßte. Außerdem verliert dieser dunkle Streifen, wenn der Komet noch längere Zeit nach seiner Perihelpassage sichtbar bleibt, sehr häufig nach und nach seine anfangs verhältnismäßig scharfe Begrenzung und Intensität, verschwindet endlich wohl auch ganz, wie beim großen Kometen von 1858, von dem wir später ausführlicher sprechen werden. Es scheint daher die Vorstellung viel angemessener zu sein, daß der Schweif des Kometen nicht, wie man gewöhnlich glaubt, eine rutenartige Fortsetzung seines Hauptkörpers, sondern daß er ein hohler, mit einem eigenen schwachen Lichte versehener, durchsichtiger Kegel ist, der sich nach und nach mit Kometen-Materie erfüllt und uns dann anfänglich natürlich an seinen beiden Rändern viel heller als in seiner Mitte erscheinen muß. So sah man den schönen Kometen von

1811 durch gute Fernrohre mit seinem hellen Kopfe ganz auf die Art, wie man etwa ein kugelförmiges Licht in dem Brennpunkte einer durchsichtigen, paraboliſchen Glasglocke ſehen würde. Dieſen kugelförmigen Kopf, in deſſen Centrum ein auffallend heller, ſternartiger Kern ſich befand, umgab ein Ring von dunkelgrauer Farbe, durch den man ſelbſt ſehr kleine Sterne mit ganz ungeſchwächtem Lichte durchſchimmern ſah. Die dunkle Kugelſchicht war wieder von einer helleren umgeben, die auf der von der Sonne abgewendeten Seite offen war und hier in zwei Lichtſtröme auslief, welche ſich auf viele Millionen Kilometer erſtreckten. Das Ganze gewann dadurch das Ausſehen eines ungeheuren paraboliſchen Trichters, deſſen gelbliches Licht einen auffallenden Kontraſt mit der grünblauen Farbe des Kopfes bildete. Eine nähere Vorſtellung davon kann die beifolgende, von Olbers am 7. September 1811 angefertigte Zeichnung (Fig. 77) bieten. Die Scheibe oder der Kopf C war rund, ſchlecht begrenzt und hatte 2′ Durchmeſſer. Der dunkle Raum fbadg um jenen Kopf wurde von einem hellen breiten Bogen FBADG begrenzt. Beider Grenzen waren nahe paraboliſch. Die Meſſung ergab $CA = 6{\cdot}9'$, $BD = 23{\cdot}3'$, und wenn man auf der Achſe ACE des Kometen die Linie $CE = 35{\cdot}3'$ nahm, ſo war $FG = 55{\cdot}0'$. Der innere dunkle Raum fbadg ſtach immer noch merklich von der dunklen Bläue des Himmels außerhalb des paraboliſchen Reifens FBADG ab, deſſen Brennpunkt dem Anſcheine nach der Punkt C bildete. Der Kern war demnach gleichſam in einem ihn frei umgebenden paraboliſchen Konoid eingeſchloſſen. Olbers folgerte daraus, daß die von dem Kometen und ſeiner Atmoſphäre entwickelten Lichtmaſſen ſowohl von dem Kometen als auch von der Sonne abgeſtoßen werden, und daß ſie ſich demnach dort anhäufen, wo beide Abſtoßungen ſich das Gleichgewicht halten. Selbſt durch den hellen paraboliſchen Reifen ließen ſich noch Sterne der 8. bis 9. Größe gut erkennen, obſchon ihr Licht, wohl nur durch die helle Umgebung, merklich geſchwächt erſchien. Zur Zeit ſeiner größten Erdnähe am 15. Oktober, wo der Komet von der Erde 1·23 Halbmeſſer der Erdbahn entfernt ſtand, maß die Länge ſeines Schweifes nahe 25° oder etwa 90 Millionen km und die Breite des dunklen Ringes um den Kopf C nahe 5′ oder 266 000 km.

Fig. 77.

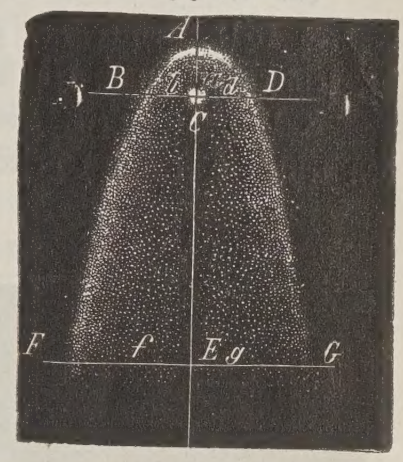
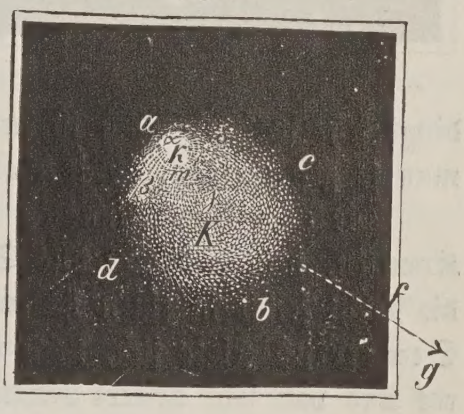


Fig. 78.



Die Zeichnung Fig. 78 zeigt den Encke'ſchen Kometen, wie er am 30. November 1828 erſchien. Er zeigt im allgemeinen die typiſche Form eines ſchwächeren

teleskopischen Kometen, bei dem jedoch der hellste Teil der Kern k vom Mittelpunkte der Nebelmasse K und auch vom Mittelpunkte der helleren ihn umgebenden Kugelschale $\alpha\beta\gamma\delta$ ungewöhnlich weit entfernt ist. Die Linie fg deutet die Richtung von dem Kern k zur Sonne an. Der Durchmesser cd des ganzen Nebels betrug nahe 9′, der Durchmesser $\alpha\gamma$ der helleren Kugel hatte 4′. Die Begrenzung cad war parabolisch und dieser ganze Teil cda viel heller als der übrige cdb, der sich mehr kreisförmig und schlecht begrenzt zeigte.

Zu einem ersten Überblicke folgt hier noch in Fig. 79 der Komet des Jahres 1819, keiner der größten, aber immerhin ein sehr auffälliger und einer, der seiner Form nach ein häufig wiederkehrender Typus der größeren Kometen ist.

§ 136. (Sehr große Kometen.) Die meisten derjenigen Kometen, die wir in den letzten Decennien gesehen haben, waren sogenannte teleskopische Kometen, so klein und schwach leuchtend, daß man sie nur durch Fernrohre und auch da oft schlecht genug erkennen konnte. Die größten, die uns seit lange besucht haben, waren die der Jahre 1807, 1811, 1835 (Halley), 1843, 1858, 1861, 1862, 1874, 1881 und 1882, obschon auch diese, wenn in den Nachrichten alter Chroniken nicht Übertreibungen aller Art vorkommen, was allerdings sehr wahrscheinlich ist, nicht zu den glänzendsten gezählt werden können, die man je gesehen hat. Wir wollen nur einige der letzteren näher anführen.

Fig. 79.

Die chinesischen Annalen erzählen, wie uns Thevenot berichtet, von einem Kometen, der bei Nacht alle Sterne durch seinen Glanz unsichtbar gemacht und die Nacht selbst in einen hellen Tag verwandelt haben soll. Nach dem Tode des Demetrius zeigte sich, nach Seneca, ein Komet so groß wie der Mond, ganz rot und von sehr hellem Lichte. Aristoteles schreibt von dem Kometen, der im Jahre 371 v. Chr. G. erschien, daß sein heller und breiter Schweif den dritten Teil des sichtbaren Himmels eingenommen habe. Im Jahre 43 v. Chr. G., bald nach Cäsar's Tod, erschien ein Komet, der so hell war, daß man ihn selbst am Mittage noch gut sehen konnte. Die Römer glaubten, daß er gekommen sei, den Geist des großen Diktators zu empfangen, um ihn dem Sitze der Götter zuzuführen. Der Komet wurde deshalb Julium Sidus genannt und auch die Sonne, in blassen Schleier gehüllt, soll den Tod des außerordentlichen Mannes betrauert haben.

Zur Zeit Nero's, 60 Jahre n. Chr. G., erschien ein Komet, der nach Seneca's Berichten die Strahlen der aufgehenden Sonne verdunkelte. Im Jahre 1402 erschienen zwei sehr große und helle Kometen. Der von 1532 konnte den ganzen Tag hindurch am Himmel gesehen werden. Der von 1618, welcher zu Zeiten Kepler's, im ersten Jahre des dreißigjährigen Krieges, sich blicken ließ, hatte einen Schweif von 100° Länge, so daß das Ende desselben im Horizonte noch nicht aufgegangen war, wenn sein Kopf bereits die Mitte des Himmels einnahm, und dieser Schweif erschien um so furchtbarer, da er nicht in eine Spitze auslief, sondern vielmehr fächerartig sich immer mehr ausbreitete. Der Komet von 1860 war so groß, daß er, obschon sein Kopf bald nach der Sonne unterging, doch die ganze Nacht hindurch einen Teil seines über 70° langen und sehr breiten Schweifes über dem Horizonte zeigte. Einer der größten der bisher gesehenen Kometen war der von 1744, dessen Licht nach dem Berichte der Astronomen jener Zeit am 1. Februar dieses Jahres schon heller als das des Sirius war, der am 8. Februar an Helligkeit den Jupiter und im Anfange des März selbst die Venus in ihrem größten Glanze übertraf, so daß man ihn an beschatteten Stellen um 1 Uhr nachmittags mit freien Augen sehr gut sehen konnte. Durch seine Größe ausgezeichnet war endlich auch der Komet vom Jahre 1769, dessen Schweif über 90° lang war, und der von 1861, dessen Schweif zur Zeit seiner größten Entfaltung sogar eine Länge von 120° erreichte.

Wir haben hier, nach dem Gebrauche der Astronomen, die Länge der Kometenschweife in Graden, also nur die Winkel angegeben, unter welchen sie, von der Erde gesehen, erschienen sind. Einen deutlicheren Begriff von ihrer Ausdehnung würden wir erhalten, wenn wir dieselben in Kilometern angeben könnten. Allein das ist oft schwer, weil man, wenn auch die Entfernung der Kometen von der Erde, so doch nicht die Lage ihrer Schweife gegen unsere Gesichtslinie genau angeben kann. Wegen dieser Lage erscheinen sie uns oft sehr verkürzt, wozu noch die meistens sehr schwache und unbestimmte Begrenzung derselben an ihren von dem Kerne entfernten Enden kommt. Schröter und W. Herschel haben es zuerst versucht, die wirkliche Größe dieser Schweife zu bestimmen. Sie fanden die Länge des Schweifes des Kometen von 1744 gleich 52 Millionen km, die von 1769 über 70, die von 1680 gegen 150 und endlich die von 1811 über 160 Millionen km. Andere Beispiele werden wir weiter unten kennen lernen.

Man muß demnach die Kometen als die größten Körper unseres Sonnensystems ansehen. Ihre Schweife erstrecken sich, wie wir soeben sahen, zuweilen über einen Raum, der größer ist als die Entfernung der Erde von der Sonne, und auch der auf ihre Achse senkrechte Durchmesser oder die Dicke derselben mag oft Millionen km betragen. Der Kopf des Kometen von 1811 hatte, nach dem oben Gesagten, einen Durchmesser von wenigstens 1 Million km; dieser Diameter war also über 80mal größer als der Durchmesser der Erde und selbst noch 7mal größer als der Durchmesser Jupiters, des größten unserer Planeten,

so daß der Kopf dieses Kometen an körperlichem Inhalte oder an Volumen den Jupiter über 340mal und die Erde über 510 000mal übertraf, wobei sein ungeheurer Schweif nicht mitgerechnet ist, obschon er in seiner Länge die Distanz der Sonne von der Erde weit hinter sich zurückließ. Natürlich kann eine Masse, die einmal so viele Millionen km von dem Kopfe des Kometen weggeschleudert worden ist, von der so schwachen Materie dieses Kopfes nicht wieder zurückgezogen werden, und es erklärt sich daraus leicht die Abnahme der Größe, die man bei einigen mehrmals wiedergekehrten Kometen bemerkt haben will.

§ 137. (Eigenlicht und Spektrum der Kometen.) Eine sehr interessante Frage ist zweifelsohne die, ob die Kometen so wie die Planeten an sich dunkle Körper sind und ihr Licht nur von der Sonne erhalten, oder ob sie so wie die letzte auch mit einem eigenen, wenngleich viel schwächeren Lichte leuchten.

Zur Entscheidung dieser Frage trachtete man in früheren Zeiten, ähnliche Phasen an den Kometen aufzufinden, wie sie unser Mond, Venus und Merkur zeigen, allein stets mit negativem Erfolge, wie es denn überhaupt bei dem ganzen Baue dieser Körper sehr schwer fallen dürfte, je solche Phasen zu erkennen, selbst wenn sie vorhanden wären. Man bemühte sich deshalb seit Arago vielfach, diese Frage durch das Untersuchen des Kometenlichtes in Bezug auf seine Polarisation zu lösen; aber auch diese Versuche führten zu keinem entscheidenden Resultate. Man weiß nämlich, daß gewöhnliches Licht in mehr oder weniger polarisiertes übergeht, wenn es von einem andern Körper reflektiert wird (§ 6). Wenn man daher auch findet, daß das vom Kometen ausgehende Licht teilweise polarisiert ist, so ergiebt sich doch daraus nur, daß ein Teil desselben sicherlich reflektiertes Sonnenlicht ist, woran ohnehin niemand zweifelt. Hingegen zeigt eine Reihe anderer Erscheinungen, daß wenigstens einige Kometen außer mit erborgtem auch mit eigenem Lichte leuchten. Dies geht schon aus den bedeutenden Helligkeitsschwankungen hervor, die man besonders in den letzten Jahren an mehreren Kometen wahrgenommen hat, und auch daraus, daß sie unter sonst gleichen Umständen nach dem Perihel gewöhnlich viel länger und heller gesehen werden als vor demselben. So wurden die großen Kometen von 1843 und 1880 vor dem Perihel überhaupt gar nicht sichtbar; der große Komet vom September 1882 wurde kaum 14 Tage vor seiner Perihelpassage mit freiem Auge aufgefunden, während er nach derselben durch 5 Monate sichtbar blieb, in der letzten Zeit allerdings so schwach, daß er ohne vorherige Kenntnis seines Ortes mit unbewaffnetem Auge schwerlich so lange hätte verfolgt werden können. Das Resultat dieses Raisonnements wird auch durch die auf astronomischem Gebiete immer größere Bedeutung gewinnende Spektralanalyse bestätigt.

Mit Ausnahme des Kometen Holmes (1892 III) haben nämlich bisher alle auf ihr Spektrum untersuchten Kometen ein ganz gleiches, aus drei hellen Bändern bestehendes Spektrum gezeigt, welches auf Taf. XIV an dem des Kometen Encke ersichtlich ist. Dies Spektrum besteht im wesentlichen aus den Spektralbanden

des glühenden, oder elektrisch zum Leuchten gebrachten Kohlenwasserstoffgases, mit der Eigentümlichkeit, daß das Lichtmaximum nicht wie bei den Kohlenwasserstoffbanden an der dem Rot zugekehrten Kante liegt, sondern gegen Violett verschoben ist. Dies rührt, wie schon Vogel bemerkte, aber erst Kayser experimentell nachwies, daher, daß bei Bandenspektren durch Verbreiterung des Spaltes die Maximalintensität der Banden sich nach dem violetten Ende verschiebt, und Kometen in der Regel, ihrer Lichtschwäche wegen, mit verhältnismäßig sehr breitem Spalte untersucht werden müssen.

Bei mehreren sonnennahen Kometen der letzten Zeit, so unter anderem bei dem großen Septemberkometen von 1882, dessen Spektrum ebenfalls auf Taf. XIV abgebildet ist, traten zur Zeit des Periheldurchganges noch eine Reihe heller Linien auf. Die Bedeutung dieser Thatsache wird weiter unten bei der Besprechung dieses Gestirnes erörtert werden; hier genüge vorläufig die Bemerkung, daß, wie man leicht erkennt, alles über das Spektrum der Kometen vorgebrachte, darauf hinweist, daß diese Himmelskörper auch eigenes, von leuchtenden Gasen herstammendes Licht aussenden.

§ 138. (Durchsichtigkeit, Masse und Dichte der Kometen.) Die Materie, aus welcher die Koma und der Schweif eines Kometen bestehen, ist meistens so locker und fein, daß sie nicht einmal mit unseren dünnen Nebeln zu vergleichen ist. Während man nämlich durch diese selbst größere Gegenstände wie Häuser und Bäume schon auf wenige Schritte nicht mehr zu erkennen vermag, sieht man durch die Nebelhüllen der Kometen, die für unsere Gesichtslinie sich auf tausende von Kilometern erstrecken können, in Abständen weniger Sekunden von dem Kerne die kleinsten Fixsterne kaum mehr geschwächt, als es eine lichte Umgebung überhaupt mit sich bringt. So sah Young am 1. Dezember 1871 den Encke'schen Kometen ganz central über einen Stern 9. Größe weggehen, der in keiner Weise verdunkelt erschien und 30^s lang so genau im Centrum des Kometen stand, daß man ihn für den Kern desselben hätte halten können. Der Stoff, aus welchem diese Körper bestehen, scheint also, wenn er gleich Sonnenlicht zurückwirft und daher dasselbe nicht vollkommen durchläßt, doch jedenfalls sehr diaphan zu sein. Eine Gelegenheit, hierüber entscheidende Beobachtungen anzustellen, hätte der Komet von 1819 geboten, der am Morgen des 26. Juni jenes Jahres in einer Entfernung von 104 Millionen km zwischen Sonne und Erde durchging, und den wir daher auf dem lichten Hintergunde der Sonne hätten sehen können, wenn er irgend eine solide Masse enthielt. Aber unglücklicherweise wurde die Vorherberechnung dieser Erscheinung zu spät bekannt, und die Beobachtung Pastorff's, der einen an diesem Tage von ihm bemerkten Sonnenfleck für jenen Kometen hielt, ist zu wenig verbürgt, um hier in Betracht zu kommen, namentlich da General Lindener in Glatz und Prof. Steinheibel in Wiener Neustadt ausdrücklich bezeugten, daß die Sonne zu jenen Stunden ganz fleckenfrei gewesen sei. Auch der Komet 1826 V ging in den Morgenstunden des 18. November zwischen

Sonne und Erde hindurch, ohne daß Gambart, der während dieser Zeit die Sonne beobachtete, auf ihr eine Spur desselben bemerkt hätte. Seither ist 1882 wirklich die Beobachtung des Vorüberganges eines Kometen vor der Sonnenscheibe, auf die wir später zurückkommen werden, gelungen: während desselben war er auf der Sonnenscheibe unsichtbar, vielleicht aber nur deshalb, weil er um jene Zeit eine ganz außergewöhnliche Lichtstärke entfaltete. Die berüchtigte Bedeckung des Mondes durch einen Kometen, von der Georg Phranza in seiner Chronik für 1454 berichten soll, hat sich als eine unrichtige Übersetzung des griechischen Textes erwiesen.

Die Masse der Kometen ist stets eine sehr geringe, wie unzweifelhaft daraus hervorgeht, daß, trotzdem schon eine Reihe solcher der Erde und anderen Planeten unseres Sonnensystems sehr nahe gekommen sind, doch noch keiner je eine merkbare Störung im Laufe dieser Himmelskörper hervorgebracht hat, während bei solchen Gelegenheiten die Bahnen der Kometen, namentlich von Jupiter bereits wiederholt eine vollständige Umgestaltung erfahren haben, wovon wir später einige Beispiele kennen lernen werden. Unter diesen Umständen muß bei der großen Ausdehnung der Kometen, deren Dichte ungemein gering sein. Dies gilt aber eigentlich nur von diesen Himmelskörpern im ganzen; ihre Kerne müssen, wenn auch sehr klein, doch oft sehr dicht sein, da sie sonst nicht so viel Stoff zur Schweifbildung abgeben könnten, ohne zu verschwinden. Dies in Verbindung mit der eben erwähnten großen Durchsichtigkeit von Koma und Schweif macht es überhaupt wahrscheinlich, daß die Kometen, gleich den oft zur Erde fallenden Schwärmen von Meteorsteinen, nur durch gegenseitige Anziehung einzelner, durch weite Zwischenräume getrennter Körperchen größere Komplexe bilden, — eine Ansicht, auf die wir bei der Betrachtung der Sternschnuppen wieder zurückkommen werden.

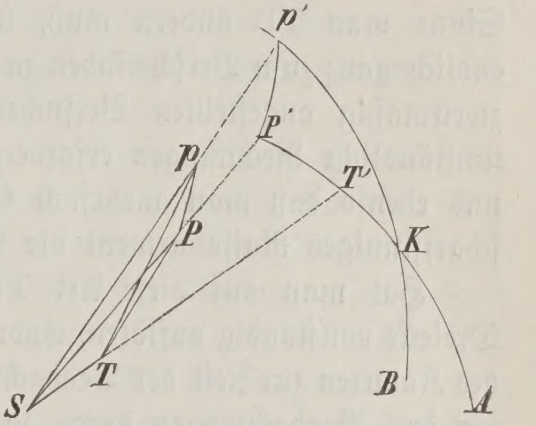
§ 139. (Berechnung der Kometenbahnen.) Die Kometen beschreiben fast durchgehend sehr langgestreckte elliptische Bahnen, in denen wir sie nur in der Nähe ihrer Perihelien, oder während sie nahe zur Sonne, also auch Erde kommen, erblicken, weil diese im Vergleiche zu den großen Kometenbahnen nie weit von der Sonne entfernt ist. Wenn sie daher, oft erst nach langer Zeit, wieder zur Sonne herabsteigen, und uns dann abermals sichtbar werden, erscheinen sie uns nicht nur wegen Änderungen, die an ihnen selbst vorgekommen sein können, sondern schon wegen ihrer verschiedenen Stellung gegen Sonne und Erde, in ihrer äußeren Gestalt zuweilen so sehr geändert, daß es unmöglich ist, sie an ihrer Form als früher schon dagewesene Gäste zu erkennen. Da aber dieses Wiedererkennen für die Astronomen sehr wichtig ist, so haben sie andere Merkmale aufgesucht, die aller Wahrscheinlichkeit nach weniger Veränderungen unterworfen sind, und diese fand man in den Elementen ihrer Bahnen (I, § 82), deren Kenntnis ohnehin nötig ist, um die Bewegung und den Ort des Kometen für jede gegebene Zeit durch Rechnung zu bestimmen.

So oft daher einer dieser Himmelskörper erscheint, wird er sofort eifrig beobachtet, und aus diesen Beobachtungen werden dann durch Rechnung die Elemente seiner Bahn abgeleitet. Findet man, daß diese Elemente mit einem der bereits früher erschienenen Kometen übereinstimmen, so wird man daraus schließen, daß diese beiden Kometen höchst wahrscheinlich identisch sind und daß daher der fremde Gast schon einmal oder vielleicht öfter dagewesen ist.

Es kann nun freilich eine Antwort auf die naheliegende Frage: wie findet man denn die Elemente einer Kometenbahn? hier nicht vollständig gegeben werden. Dessenungeachtet wird der Leser wünschen, wenigstens den Weg im allgemeinen angezeigt zu finden, wie man dazu gelangen kann; wir wollen daher das schon früher über diesen Gegenstand mitgetheilte (§ 66) noch durch folgendes ergänzen.

Sei S (Fig. 80) die Sonne, T die Erde und p der Komet zur Zeit irgend einer Beobachtung desselben. Läßt man von p auf die Ebene STP der Ekliptik eine Senkrechte pP herab, und verbindet man dann diesen Punkt P durch gerade Linien mit S und T, so entstehen hier drei Dreiecke STP, SPp und TPp, und auf die vollständige Kenntnis dieser Dreiecke kommt eigentlich die ganze Rechnung hinaus, um die es sich hier handelt.

Fig. 80.



Aber die Kenntnis oder die sogenannte Auflösung dieser Dreiecke bietet insofern Schwierigkeiten dar, als unsere Beobachtungen uns nichts geben können, wie die Lage der Visurlinie zum Gestirne, also hier erstens den Elongationswinkel (I, § 79), STP (der gleich ist der Länge der Sonne weniger der geocentrischen Länge des Kometen), und zweitens die geocentrische Breite des Kometen oder den Winkel PTp. Da uns die Bewegung der Sonne aus ihrer Theorie bekannt ist, so können wir auch noch die Entfernung der Erde von der Sonne oder die Größe der Linie ST angeben. Die in jenen drei Dreiecken bekannten Größen sind also die beiden Winkel STP und PTp nebst der Linie ST, und daraus läßt sich nun nach einem leichten Satze der Trigonometrie auch noch der Winkel STp ableiten. Zur Auflösung der obigen Dreiecke haben wir aber noch die Kenntnis einer Distanz nötig: entweder der Entfernung Sp des Gestirnes von der Sonne oder der Entfernung Tp desselben von der Erde. Nach dem kurz vorher Gesagten können uns aber diese Kenntnis die Beobachtungen nicht allein liefern; es wäre daher das Problem der Bahnbestimmung eines Kometen oder Planeten überhaupt unlösbar, wenn uns nicht die Kepler'schen Gesetze noch Relationen zwischen den einzelnen Orten des Himmelskörpers, d. h. Bedingungsgleichungen geben würden, die von den Beobachtungen erfüllt werden müssen. So muß die vom Himmelskörper beschriebene

Kurve ein Kegelschnitt sein; ferner müssen alle beobachteten Orte in einer Ebene liegen, die durch den Mittelpunkt der Sonne geht; endlich müssen die vom Radius Vektor durchstrichenen Flächenräume den Zwischenzeiten proportional sein. Die analytischen Ausdrücke hierfür kann man nun zwar ohne Mühe aufstellen; aber sie sind so weitläufig, und die aus ihnen zu findenden unbekannten Größen unter einander so verwickelt verbunden, daß eine direkte Berechnung derselben nicht möglich ist.

Man mußte also den direkten oder geraden Weg verlassen und zusehen, ob man nicht vielleicht durch Umwege das gewünschte Ziel erreichen könne, durch Versuche, in welchen man z. B. eine von den unbekannten Seiten, etwa TP, willkürlich, also wohl ohne Zweifel fehlerhaft annimmt und dann mit dieser Annahme weiter rechnet, bis man auf Resultate kommt, die sich mit den Beobachtungen nicht mehr vertragen. Man bricht dann die Rechnung ab, und führt sie mit einer anderen Annahme über TP wieder bis zu demselben Punkte fort. Aus den beiden so erhaltenen Fehlern ersieht man nun ohne Mühe, in welchem Sinne man TP ändern muß, um diese Fehler allmählich zu verkleinern und endlich ganz zum Verschwinden zu bringen, was man schließlich auch nach mehreren zweckmäßig angestellten Versuchen erreicht. Daß jedoch ein solches Verfahren umständliche Rechnungen erfordert, wird man ohne unsere Erinnerung bemerken, und ebenso daß man mehrfach Gelegenheit finden wird, durch Kunstgriffe und scharfsinniges Raisonnement die Arbeit wesentlich abzukürzen.

Hat man auf diese Art TP ermittelt, so lassen sich die oben genannten Dreiecke vollständig auflösen, wodurch auch die Seite Sp, das ist der Radius Vektor des Kometen zur Zeit der Beobachtung, bekannt wird. Führt man diese Rechnung für drei Beobachtungen durch, so ist die Aufgabe der Elementenbestimmung auf das geometrische Problem zurückgeführt, eine Ellipse zu suchen, welche drei gegebenen Radien und den zwischen ihnen eingeschlossenen Winkeln genügt; — ein Problem, das sich auf mehr als eine Weise auflösen läßt.

Dasselbe Verfahren muß man auch bei der Bestimmung der Elemente der Planetenbahnen anwenden, und es wird auch in der That bei den Asteroiden angewendet; ja sie sind es eigentlich, welche mehrfach Gelegenheit zur Ausbildung dieser Methode gegeben haben. Bei den älteren Planeten aber konnte man sich diese Mühe ersparen, weil von denselben eines jener 6 Elemente, nämlich die Umlaufszeit oder, was dasselbe ist, die große Achse ihrer Bahnen durch die Beobachtungen der Alten bereits auf das genaueste bekannt war, ein Vorteil, der bei den neueren Planeten wegfiel.

Auch bei den Kometen hat man sich eines ähnlichen Vorteils zu bedienen gesucht, um die hieher gehörenden Rechnungen zu erleichtern. Nachdem man nämlich bemerkt hatte, daß sie beinahe alle in sehr excentrischen Ellipsen um die Sonne laufen, erlaubte man sich die Voraussetzung, daß sie sich nicht in Ellipsen, wie dies wirklich der Fall ist, sondern daß sie sich in Parabeln um die

Sonne bewegen. Wenn beide krumme Linien denselben Scheitel und Brennpunkt haben, so kommt der Bogen der Ellipse dem der Parabel desto näher, je excentrischer die Ellipse ist, besonders in der Nähe des Scheitels oder des Periheliums, und eben da ist es, wo wir die Kometen gewöhnlich beobachten, weil sie da der Sonne und also auch im allgemeinen der Erde am nächsten stehen.

Nimmt man nun die Bahn der Kometen parabolisch an, so fällt dadurch ein Element, die große Achse, die hier unendlich groß wird, ganz weg, und die Rechnung wird dadurch ungemein erleichtert. In der That macht man diese abkürzende Voraussetzung bei allen ersten Bahnberechnungen von Kometen und stellt damit in der Regel die Beobachtungen hinlänglich genau dar, begiebt sich aber zugleich, indem man die große Achse der Bahn als unendlich groß annimmt, aller vorläufigen Kenntnis der Umlaufszeit des Kometen. Aber nachträglich, wenn derselbe Komet wiederkehrt und man aus der Ähnlichkeit der Bahnelemente beide Erscheinungen als demselben Himmelskörper angehörend erkennt, kann man auf diesem Wege mittelbar die Umlaufszeit finden. Übrigens kommt es namentlich bei den heutigen, so viel genaueren Beobachtungen nicht eben selten vor, daß dieselben einer Parabel sich nicht fügen, in welchem Falle man genötigt ist, unmittelbar eine elliptische Bahn zu suchen.

Es ist für sich klar, daß die Bestimmung der Elemente desto genauer sein wird, je größer der Bogen war, in welchem man den Kometen von der Erde beobachtet hat, weil hier wie überall der Schluß von dem Kleinen auf das Große mißlich ist. Es ist daher sehr nachteilig, daß wir die Kometen wegen ihres schwachen Lichtes nur in der Nähe der Sonne, also meistens nur in einem sehr kleinen Teile ihrer weit verbreiteten Bahnen sehen können, da sie, sobald sie sich weiter von der Sonne, also auch von der Erde entfernen, selbst unseren besten Fernrohren sich entziehen. Dieser ungünstige Umstand äußert seine Wirkung ganz besonders auf die Umlaufszeit der Kometen. Es kann daher nicht Wunder nehmen, daß, je nachdem man diese oder jene Beobachtungen der Berechnung der Elemente zu Grunde legt, Umlaufszeiten von sehr verschiedener Dauer erhalten werden, und daß bereits Umlaufszeiten von mehreren hundert Jahren wegen der den Beobachtungen anhaftenden Fehler nicht mit Sicherheit bestimmt werden können.

Ein weiterer Umstand, der das Wiedererkennen eines Kometen bei seiner Rückkehr zum Perihele sehr erschwert und häufig ohne weitläufige und zeitraubende Rechnungen ganz unmöglich macht, sind die großen Veränderungen, welche die Bahnen dieser Gestirne erleiden, wenn sie einem der größeren Planeten, namentlich Jupiter, nahe kommen. Die Bedingungen und Verhältnisse, unter denen in einem solchen Falle Jupiter im Laufe der Kometen große Störungen hervorbringen kann, sind in neuerer Zeit von Tisserand, Schulhof, Callandreau und H. A. Newton genauer studiert worden. Nach den Untersuchungen des letzteren werden unter der Voraussetzung, daß die Kometen ursprünglich in parabolischen Bahnen einhergehen, die im Raume gleichmäßig verteilt sind, von 1000 Millionen

Kometen, deren Periheldistanz innerhalb der Jupitersbahn liegt, in elliptische Bahnen abgelenkt mit Umlaufszeiten:

unter der Hälfte jener Jupiters . . .	126	Kometen
bis zu = = . . .	839	=
bis zur $1^1/_2$fachen = = . . .	1701	=
= = doppelten = = . . .	2670	=

u. s. w.

Aus den Untersuchungen Newtons geht aber noch weiter hervor, daß elliptische Bahnen fast nur bei solchen Kometen entstehen, deren Bahnebene gegen die Jupiters eine geringe Neigung hat, und daß sie diese mäßige Bahnneigung auch nach der Transformation ihrer Bahn beibehalten. Kometen hingegen, welche die Jupitersbahn unter einer großen Neigung schneiden, trifft in der Regel ein anderes Schicksal: ihre Bahnen werden nämlich in hyperbolische umgewandelt, und sie meist dadurch in den endlosen Fixsternraum hinausgeschleudert.

Callandreau gelangte bei seinen in einer anderen Richtung geführten Forschungen überdies zu dem wichtigen Resultate, daß alle Kometenbahnen, deren Halbachsen zwischen 2·60 und 6·28 Erdbahnhalbmessern liegen, ursprünglich parabolische waren, und nur gelegentlich eines Eintrittes in die Wirkungssphäre Jupiters in elliptische umgestaltet wurden. Ein Blick auf die Tabelle der periodischen Kometen kurzer Umlaufszeit zeigt nun, daß abgesehen vom Encke'schen, bei allen übrigen die Halbachsen innerhalb der obigen Grenzen liegen: man kann also annehmen, daß alle diese Bahnen durch Störungen Jupiters bewirkt wurden.

Damit sind jedoch die Schwierigkeiten, welche sich dem Wiedererkennen, oder richtiger gesagt, dem Wiederauffinden von bereits einmal gesehenen Kometen entgegenstellen, noch keineswegs erschöpft. Es kommen hierbei auch die Sichtbarkeitsverhältnisse wesentlich in Betracht, die je nach der verschiedenen Stellung der Kometen zur Erde und Sonne sich bei einer Erscheinung sehr günstig, bei einer anderen aber so ungünstig gestalten können, daß er überhaupt nicht sichtbar wird. So hat beispielsweise der schwache, teleskopische Komet 1869 III eine Umlaufszeit von sehr nahe 5·5 Jahren, und deshalb die Eigentümlichkeit, daß wenn, wie dies jetzt der Fall ist, einmal eine Perihelpassage unter sehr günstigen Sichtbarkeitsverhältnissen stattfindet, eine Reihe von Umläufen hindurch für die Sichtbarkeit sehr günstige und sehr ungünstige Erscheinungen regelmäßig mit einander abwechseln, wie denn auch in der That seine Helligkeit bei der Perihelpassage im Mai 1875 mehr als 100mal geringer war als bei den Perihelpassagen im November 1869 und 1880, was wohl zur Genüge erklärt, daß er im Jahre 1875 nicht aufgefunden wurde.

Endlich zeigen, wie wir sehen werden, viele Kometen auch sehr bedeutende Schwankungen in ihrer Lichtstärke; ja es sind sogar schon einzelne völlig unsichtbar geworden. Alles dies macht es sehr begreiflich, daß eine Reihe von Kometen, welche zweifellos eine Umlaufszeit von nur wenigen Jahren besitzen, seit ihrer

ersten Erscheinung nicht wieder gesehen wurden. Trotzdem kennen wir schon mehr als ein Dutzend Kometen mit Umlaufszeiten zwischen 3 und 14 Jahren, und drei mit einer von etwas mehr als 70 Jahren, die bereits in mehreren Erscheinungen zweifellos wiedergesehen wurden, während von einer ähnlichen Zahl dieser Himmelskörper ihre nächste Rückkehr zur Sonnennähe binnen Kurzem erwartet wird. Diese Kometen, von denen wir sogleich einige der interessanteren näher betrachten werden, sind in den Tafeln am Ende des Werkes zusammengestellt.

Außer den Kometen, deren Identität mit früher erschienenen zweifellos festgestellt werden konnte, hat man noch eine Reihe anderer als schon mehrmals dagewesene Fremdlinge erkennen wollen; aber die Identität derselben ist, aus den oben angegebenen Gründen, noch immer mehr oder weniger, zum Teil sehr fraglich. So haben manche Astronomen, namentlich Clausen, den Kometen 1743 I mit 1819 IV für identisch gehalten. Die Beobachtungen aus der letzten Periode lassen allerdings deutliche Spuren einer Elliptizität bemerken, und die Elemente sind bis auf die sehr verschiedenen Neigungen der beiden Bahnen mit jener Vermutung in Übereinstimmung. Den Unterschied in den letzteren führt Clausen auf eine große Störung zurück, die der Komet im Jahre 1758 von Jupiter erlitten habe, wobei überdies seine frühere Umlaufszeit von 6·73 Jahren auf 5·5 Jahre reduziert worden sei; aber man hat den Kometen seit 1819 nicht wiedergesehen. Ebenso hält Clausen den Kometen 1766 II für identisch mit 1819 III, der nach seiner Wiederentdeckung durch Winnecke im Jahre 1858 jetzt gewöhnlich als Winneckescher Komet bezeichnet wird, und schreibt ihm deshalb eine Umlaufszeit von 5·03 Jahren zu. Ferner haben Le Verrier und Brunnow durch weitläufige Untersuchungen es wahrscheinlich gemacht, daß der Komet des Jahres 1678 mit 1844 I (De Vico) gleich sei und ihm demgemäß eine Umlaufszeit von 5·38 Jahren zukomme. Auch für den Kometen 1845 III hat D'Arrest wegen der Ähnlichkeit seiner Bahn mit der des Kometen von 1596 elliptische Elemente mit einer Umlaufszeit von 250 Jahren gerechnet, obwohl die Parabel den wenigen Beobachtungen des Jahres 1845 vollständig genügt. Dasselbe gilt vom Kometen 1873 VII, bei dem die große Ähnlichkeit der Elemente mit denen des Kometen 1818 I den Herausgeber und später Schulhof zu einer Reihe von Untersuchungen über die Identität der beiden Himmelskörper veranlaßte, welche zu dem Resultate führten, daß dieselbe in der That kaum zu bezweifeln ist. Und so könnten wir noch viele ähnliche Vermutungen anführen, die indeß noch einer Bestätigung harren.

§ 140. (Halley's Komet.) Dieser Komet zeichnet sich durch mehrere interessante Eigenschaften aus, die wir in diesem Maße bei keinem andern vereinigt finden. Er ist unter allen Kometen von großer Umlaufszeit der einzige, von dem wir so viele Wiederkünfte aufzuweisen haben; wir können ihn bis in die Mitte des 15. Jahrhunderts mit Sicherheit und mit einiger Wahrscheinlichkeit sogar bis zu dem Anfange der christlichen Zeitrechnung verfolgen. Er ist ferner einer der größten und auffallendsten Kometen; er ist der erste, dessen Wiederkunft die

Menschen vorauszusagen gewagt und glücklich gewagt haben, und er ist es endlich, der uns diese rätselhaften Himmelskörper zuerst näher kennen gelehrt hat, da beinahe keine seiner Erscheinungen ohne irgend eine wichtige Entdeckung oder eine Bereicherung unserer Kenntnis der Kometenwelt vorübergegangen ist.

Die Umlaufszeit dieses Kometen beträgt im Mittel aus den bisher beobachteten Erscheinungen 75—76 Jahre. Die große Achse seiner Bahn ist daher 18mal größer als die große Achse der Erdbahn und beträgt sehr nahe 5350 Millionen km; wegen der großen Excentricität dieser Bahn beläuft sich aber sein Perihelabstand nur auf 0·6 Halbmesser der Erdbahn, so daß er im Perihel nur wenig mehr wie halb so weit als die Erde von der Sonne entfernt ist, während sein größter Abstand von der Sonne 35·4 Halbmesser der Erdbahn oder nahezu die doppelte Entfernung des Uranus beträgt. In seinem Perihel legt er in einer Sekunde 54·2 km zurück; in seinem Aphel hingegen nur 0·9 km, so daß er im ersteren beinahe zweimal schneller, im letzteren jedoch über 30mal langsamer sich bewegt, als die Erde. Seine Bahn liegt übrigens so, daß er der Erde sich nie auf mehr als einige Millionen km nähern kann.

Wenn man von den durch Rechnung erwiesenen, also konstatierten Erscheinungen dieses Kometen in die früheren Perioden unserer Geschichte zurückgeht, indem man von dem Jahre 1456, wo er das erste Mal gehörig beobachtet wurde, die Umlaufszeit von 75 bis 76 Jahren mehrmals subtrahiert, so stößt man bei den Historikern jener Zeiten auf mehrere Nachrichten von großen Kometen, die sehr wohl mit dem Halley'schen identisch sein können. Da aber oft in wenig Jahren mehrere bedeutende Kometen erscheinen, so ist ein solches Zurückgehen allein nicht hinreichend zur sicheren Nachweisung der Identität dieser Himmelskörper, und da von eigentlich astronomischen Beobachtungen in jenen entlegenen Epochen nicht die Rede sein konnte, so muß man sich mit einer genaueren Prüfung der näheren Umstände (Jahreszeit, Himmelsgegend u. s. w.), unter denen die betreffenden Erscheinungen auftraten, begnügen. Nachdem zuerst Laugier sich mit solcher Untersuchung früherer Sichtbarkeiten des Halley'schen Kometen befaßt hatte, führte Hind diese Arbeit weiter aus. Faßt man die von diesen beiden Astronomen erhaltenen Resultate zusammen, so lassen sich folgende in den Chroniken verzeichneten Kometenjahre als Wiederkünfte des Halley'schen Kometen betrachten:

12 J. v. Chr., 66 n. Chr., 141, 218, 295, 373, 451, 530, 608, 684, 760, 837, 912, 989, 1066, 1145, 1223, 1301, 1378,

so daß wir das Gestirn in allen seinen Erscheinungen bis zum Anfange unserer Zeitrechnung verfolgen könnten. Die Erscheinung 1066 ist sehr wahrscheinlich auf der berühmten Stickerei von Bayeux verewigt, welche bekanntlich die Hauptereignisse der Eroberung von England durch Wilhelm den Eroberer darstellt. Für das Jahr 1378 erwähnen chinesische Geschichtsbücher, so wie Alstedius und Lubienicius zweier großer Kometen, von denen die chinesischen Beobachtungen

des einen unzweifelhaft darthun, daß es der Halley'sche war. Der letztere Schriftsteller Lubienicius ist der eigentliche Vater der Kometographie und hat uns in seinem Theatrum cometicum eine Menge in älteren Schriften zerstreuter Nachrichten über Kometen hinterlassen.

§ 141. (Erste beobachtete Erscheinung des Halley'schen Kometen.) Die erste verläßliche, weil durch astronomische Beobachtungen konstatierte Erscheinung dieses Kometen fällt in das Jahr 1456. Er zeigte sich in diesem Jahre als ein cometa horrendæ magnitudinis, wie ein Chronist jener Zeit schreibt, da er der Sonne und der Erde zugleich sehr nahe stand. Sein Schweif hatte während seiner glänzendsten Periode eine Länge von 60°, und breitete sich gegen sein Ende in Gestalt eines Pfauenschweifes aus. Zur Zeit seiner Sonnennähe soll sein Kern das intensive Licht eines Fixsternes gehabt haben. Da man ihn anfangs am Morgen oder vor Sonnenaufgang, und später, nachdem er einige Zeit ganz verschwunden war, wieder abends bald nach Sonnenuntergang am Himmel gesehen hatte, so glaubte man, daß zwei verschiedene Kometen nach einander erschienen seien. Allein mehrere Beobachter hatten bereits die richtige Ansicht gewonnen, daß diese beiden Erscheinungen einem und demselben Kometen angehören, dessen Sichtbarkeit nur durch seine Annäherung zur Sonne einige Zeit unterbrochen wurde, und der dann, als er auf die andere, östliche Seite der Sonne getreten war, auch im Osten von derselben, d. h. bald nach Sonnenuntergang, am abendlichen Himmel gesehen werden mußte.

Fünf Jahre früher, im Jahre 1451, hatte Mahomed II. Konstantinopel erobert und dadurch dem seit Konstantin d. G. bestehenden griechischen Kaisertume ein Ende gemacht. Allein ein anderer großer Komet von 1454 hatte bei den siegreichen Türken großen Schrecken verbreitet, indem sie ihn für die Anzeige eines allgemeinen Kreuzzuges der gesamten europäischen christlichen Heere gegen sie hielten. Zwei Jahre später, als die Türken dieser Anzeige ungeachtet sehr glückliche Fortschritte gemacht und besonders das deutsche Reich mit ihren siegreichen Heeren zu überschwemmen gedroht hatten, erschien jener Komet von 1456 und verbreitete jetzt noch einen größeren Schrecken, aber nicht mehr unter den Türken, sondern unter den Christen, die ihn nun wieder als den Vorboten ihres gemeinsamen Unterganges betrachteten. Calvisius, einer der Chronisten jener Zeit, berichtet uns: His (cometa et bello) exterritus Papa Calixtus III. ad advertendam Dei iram aliquot dierum supplicationes indixit, constituitque in urbibus, ut in meridie campanae pulsarentur, ut omnes de precibus contra Turcarum tyrranidem fundendis admonerentur. Nicht umsonst, wie es scheint; denn schon im ersten Jahre des Feldzuges erscholl die freudenvolle Nachricht von der völligen Niederlage der Türken. So willkommen dieselbe der ganzen Christenheit im allgemeinen sein mochte, so verlegen machte sie zugleich die Kometendeuter. Der eine, Cromerus, wußte sich aber schnell zu helfen, indem er den Kometen Christianis laetum nuntium clade Turcia et turpi fuga Mahomedis nannte. Andere suchten dem Kometen, der nun einmal nichts als Unglück vor-

hersagen sollte, sein altes Ansehen zu wahren und bezogen seine Erscheinung nicht auf die Flucht der Türken, sondern auf den bald darauf erfolgten Tod des Helden jener Tage, Johannes Corvinus Hunjady, an welchem das Christentum eine mächtige Stütze verlor.

§ 142. (Zweite und dritte sichere Erscheinung.) Die zweite verläßliche Wiedererscheinung unseres Kometen traf in das Jahr 1531. Er war diesmal weniger groß und glänzend, auch genoß zu derselben Zeit ganz Europa eines allgemeinen Friedens. Peter Bienewitz, oder wie er sich nach dem damaligen Gebrauche, die Namen zu lateinisieren, nannte, Apianus, kaiserlicher Astronom zu Ingolstadt unter Karl V. und Ferdinand I., lieferte uns die besten Beobachtungen von demselben, wie sie denn zugleich überhaupt die ersten europäischen eigentlich astronomischen Beobachtungen sind, die wir von irgend einem Kometen erhalten haben. Apianus stellte die insofern wichtige Bemerkung auf, daß der Schweif der Kometen der Sonne immer gegenüber stehe, als dies notwendig auf einen Zusammenhang dieser Himmelskörper mit der Sonne leiten mußte. Auch in dieser Erscheinung sah man den Kometen zuerst morgens am östlichen und später abends am westlichen Himmel, und obschon auch jetzt noch Einige von zwei Kometen sprechen wollten, so hatte sich doch schon die richtige Ansicht so sehr befestigt, daß einer der Astronomen jener Zeit die Verteidiger der Verschiedenheit dieser Gestirne ohne weitere Umstände für ein imperitum vulgus erklärte. Desto mehr hingen aber dafür beinahe alle Astronomen jener Zeit noch an der Meinung, daß diese Himmelskörper Vorzeichen von herannahenden Unglücksfällen seien. Zwar regte sich bereits da und dort die so lange verborgen gebliebene Wahrheit, daß diese Körper den Planeten ähnliche Himmelskörper seien, sich so wie diese am Himmel bewegen und mit den Schicksalen der Menschen nichts gemein haben: aber diese Äußerungen, so bescheiden und furchtsam sie auch vorgetragen wurden, hatten doch das Schicksal, selbst unter den ersten Gelehrten jener Zeit Gegner zu finden und allgemein für unrichtig, wohl auch für irreligiös verschrieen zu werden. Doch mehrte sich nach und nach die Zahl der Männer, die es wagten, gegen die allgemeine Meinung aufzutreten und den bisher so ungerechterweise verleumdeten Kometen das Wort zu reden. So sagt der bekannte Grynäus: „Ich kann mich nicht genug über die Kühnheit und Unwissenheit einiger Menschen verwundern, die sich nicht scheuen, aus der Erscheinung der Kometen ohne allen Grund Mißwachs oder sonst ein anderes Unglück vorherzusagen.“ Und Thomas Erastus schrieb in der Mitte des 16ten Jahrhunderts die für jene Zeit sehr treffenden Worte: „Wollte Gott, daß die Kriege keine andere Ursache hätten als die durch die Wirkung der Kometen aufgereizte Galle der Machthaber. Ein einziger geschickter Arzt könnte dann mit einer kleinen Dosis Rhabarber oder Rosensyrup das Glück eines ganzen Landes erhalten.“

Das dritte Mal erschien unser Komet im Jahre 1607, wo er gegen Ende Oktober sein Perihel erreichte, nur wenige Wochen früher, wie bei der Erscheinung

im Jahre 1835, weshalb seine damalige Erscheinung mit der letztgenannten viel Ähnlichkeit aufweist.

Die besten Beobachtungen während seiner Sichtbarkeit im Jahre 1607 rühren von Kepler, Longomontan und den Engländern Harriot und Toporley her. Nach Kepler hatte der Komet noch gegen Ende September nur einen sehr schwachen und kaum bemerkbaren Schweif, während dessen Kopf einem nicht ganz runden Ballen von der Größe Jupiters glich, dessen Licht aber schwach und blaß wie das des Mondes war, wenn er im Halbschatten der Erde steht. Gegen das Ende der Erscheinung wurde der Kopf immer kleiner, und der Schweif verschwand wieder einige Zeit vor dem Kopfe.

§ 143. (Vierte Erscheinung.) Die vierte gewisse Erscheinung des Halley'schen Kometen fällt in das Jahr 1682, und dies ist, wenn man so sagen darf, die Zeit seiner wissenschaftlichen Geburt und die einer neuen Aera der Kometenkunde überhaupt.

Schon am Ende des 16. Jahrhunderts hatten wohl bereits Tycho de Brahe und Mästlin die Behauptung aufgestellt, daß die Kometen nicht Meteore seien, die sich bloß in unserer Atmosphäre erzeugen, sondern eigene Himmelskörper, welche sich in Kreisen um die Sonne bewegen, während die im Jahre 1607 von ihm beobachtete Erscheinung des Halley'schen Kometen Kepler auf die Idee brachte, daß die Bahnen der Kometen gerade Linien seien. In gleichem Sinne sprach sich ein halbes Jahrhundert später Hevel aus, indem er die Kometen für Himmelskörper erklärte, die in Parabeln um die Sonne laufen, und ähnliche Ansichten äußerte der Pastor Dörfel in Plauen bei Gelegenheit des Kometen von 1680. Diese Meinungen verhallten zwar fruchtlos, da sie aller Beweise mangelten; sie müssen aber dennoch als die ersten Schritte zur künftigen Theorie, zu einer eigentlichen Bahnbestimmung dieser Gestirne betrachtet werden, und waren unstreitig sehr geeignet, uns der so lange verkannten Wahrheit näher zu führen, die uns endlich durch die Entdeckung der allgemeinen Gravitation enthüllt wurde. Denn Newton wendete dies, 1682 von ihm aufgefundene Naturgesetz, nachdem er es bei den Planeten geprüft, auch auf die Kometen, und zwar zuerst auf den großen Kometen von 1680 an, dessen Bahn und Geschwindigkeit er den Beobachtungen vollkommen gemäß bestimmte, so daß an der Wahrheit der von ihm aufgestellten Ansichten weiter kein Zweifel stattfinden konnte.

Halley, Newton's Zeitgenosse und Freund, nahm sofort die neue Lehre auf und suchte sie insbesondere zur weiteren Ausbildung der Kometentheorie zu benützen. Seine Absicht ging anfangs nur dahin, die bis zu seiner Zeit eigentlich astronomisch beobachteten Kometen nach Newton's Vorschriften zu berechnen und dadurch deren Richtigkeit zu erweisen. Zu diesem Zwecke berechnete er 24 Kometen, und da unter diesen auch jene von den Jahren 1531 und 1607 waren, so erkannte er durch die Ähnlichkeit der Elemente derselben mit denen des Kometen von 1682 sofort die Identität dieser drei Gestirne. Bisher hatte er alle diese Kometen nur

in der abgekürzten, parabolischen Theorie berechnet, die auch in der That hinreichte, die Orte derselben mit den Beobachtungen übeinstimmend darzustellen. Da sich aber in den Erscheinungen der drei letztgenannten Jahre eine Periode von nahe 75 Jahren kundgab, legte er denselben in einer zweiten Berechnung die elliptische Hypothese zu Grunde und fand dadurch seine frühere Bemerkung der Identität dieser drei Kometen vollkommen bestätigt. Anfangs zwar wäre er bald an der bereits erkannten Wahrheit wieder irre geworden, da er diese Periode zwischen den verschiedenen Erscheinungen nicht gleich groß bemerkte. So fand er die Zwischenzeit von den Durchgängen des Kometen durch sein Perihel in den Jahren 1531 und 1607 nur 27 352 Tage, während diese Zeit für die Jahre 1607 und 1682 volle 27 937 Tage, also 585 Tage mehr betrug als zuvor. Aber er war scharfsinnig genug, zu finden, daß die ungemeine Nähe, in welcher der Komet bei den zwei großen Planeten Jupiter und Saturn vorüberging, die Ursache dieser Verschiedenheit gewesen sei, und daß daher die früher vermutete Identität dadurch nicht aufgehoben werde, — wohl die erste Wahrnehmung sogenannter Störungen (s. III. Abt.). Überdies fand er in dem Jahre 1456, also wieder nahe in derselben Zwischenzeit von 75 Jahren, noch eine andere Kometen-Erscheinung, von der er zwar nicht genug eigentliche astronomische Beobachtungen auffand, um sie einer strengen Rechnung unterwerfen zu können, die aber, den von ihm gesammelten Nachrichten der Geschichtschreiber jener Zeiten zufolge, immer noch sehr gut zu seiner Hypothese paßte und dieselbe noch weiter zu bestätigen schien. Er wurde durch alle diese Untersuchungen seiner Sache endlich so gewiß, daß er mit edler Kühnheit die Wiederkehr des Kometen auf das Jahr 1758 ankündigte, — die erste Vorhersagung dieser Art, die auch glücklich eingetroffen ist.

§ 144. (Fünfte Erscheinung.) Die fünfte Erscheinung unseres Kometen hatte im Jahre 1759 statt, wo er am 12. März durch sein Perihel ging. Halley hatte nach einer bloßen Schätzung der Wirkungen, welche Jupiter und Saturn auf ihn ausüben könnten, seine Wiederkehr auf das Ende des Jahres 1758 oder auf den Anfang von 1759 angekündigt. Diese Vorhersagung war schon an sich sehr wichtig, und sie hing überdies so innig mit dem nur vor kurzem entdeckten Gesetze der allgemeinen Schwere zusammen, daß sie die Aufmerksamkeit aller Astronomen erregen mußte. Sie suchten ihn daher bereits seit dem Anfange des Jahres 1757, während Clairaut, der, einer der Ersten, die Theorie der planetarischen Störungen zu entwickeln bestrebt war, sich damit beschäftigte, möglichst genau die Veränderungen zu bestimmen, welche die Anziehung der beiden genannten Planeten an ihm bewirkt haben konnte. Am 14. November 1758 berichtete er der Akademie zu Paris, daß seinen Rechnungen zufolge der Komet gegen die Mitte des April 1759 sein Perihel erreichen würde, und bemerkte, daß die Abkürzungen, die er sich bei seinen Rechnungen erlaubt habe, diese Epoche um höchstens einen Monat verspäten oder beschleunigen dürften. So nahe seine Vorhersagung auch eintraf, da sie nur einen Monat von der Wahrheit entfernt

war, so würde er die Wiederkehr des Kometen zu seinem Perihel noch viel genauer, nämlich auf den 24. März, nur 12 Tage zu spät, angesagt haben, wenn er die wahre Masse Saturns, wie sie uns erst später bekannt geworden ist, hätte anwenden können, selbst ohne weitere Rücksicht auf die großen Wirkungen des Planeten Uranus, von dessen Existenz man zu Clairaut's Zeiten noch nichts ahnte.

Diese Erscheinung zeichnete sich dadurch aus, daß sie von einem doppelten Verschwinden des Kometen begleitet war. Er wurde gegen das Ende des Jahres 1758, also vor seinem Perihele, entdeckt, näherte sich aber um die Mitte Februars von der Erde gesehen, der Sonne so sehr, daß er in den Strahlen derselben verschwand. Gegen das Ende des März trat er aus denselben wieder mit neuem Glanze hervor und verschwand am 22. April zum zweitenmal, wenigstens für die europäischen Astronomen, weil er so tief unter den Äquator herabstieg, daß er auf der nördlichen Hemisphäre der Erde nicht mehr gesehen werden konnte. Am 28. April fing er wieder an, sich aus seinen südlichen Regionen gegen den Äquator zu erheben und für uns neuerdings sichtbar zu werden, bis er endlich in den ersten Tagen des Juni sich in die fernen Gegenden des Himmels verlor, wo kein Fernrohr ihn mehr erreichen konnte. Der Erste, der den Kometen bei dieser Erscheinung bemerkte, war der Bauer Palitzsch bei Dresden, der ihn am 25. Dezember 1758 entdeckte. In Paris fand ihn der später als Kometensucher berühmte Messier gegen die Mitte des Januar 1759, worauf er von beinahe allen damals lebenden Astronomen beobachtet wurde. Nach den Nachrichten Messier's hatte er einen beträchtlichen Schweif und einen bedeutenden Kern von weißem, dem der Venus ähnlichen Lichte. De la Nux, der ihn auf der Insel Bourbon sehr eifrig verfolgte, giebt den Schweif desselben zur Zeit seiner schönsten Erscheinung, Anfangs Mai, auf 47° Länge an; aber derselbe wurde gegen Ende dieses Monats schon wieder sehr klein und beinahe unmerklich.

§ 145. (Sechste Erscheinung.) Erst spät nach der fünften Erscheinung wurden die während derselben gemachten Beobachtungen einer genauen Berechnung mit Rücksicht auf alle planetarischen Störungen unterworfen, durch welche Arbeiten sich Burkhardt, später Damoiseau, Pontécoulant u. a. auszeichneten. Ganz vorzüglichen Fleiß verwendete aber Rosenberger in Halle auf diese Untersuchung; er berechnete die Bahn des Kometen sowohl aus den Beobachtungen des Jahres 1682 als auch aus denen von 1759 auf das vollständigste und setzte die Durchgangszeit durch das Perihel auf den 12. November 1835 an, und zwar, wie sich später zeigte, nur um 4 Tage zu früh, da sie thatsächlich am 16. erfolgte.

Nach den Vorausberechnungen sollte er im August 1835 schon sichtbar werden, im Oktober der Erde am nächsten sein und seine Entfernung ungefähr $^1/_4$ der Distanz der Sonne von der Erde betragen. Im November würde er für die nördliche Halbkugel verschwinden, dagegen aber auf der südlichen noch längere Zeit gut zu sehen sein, endlich zu Anfang des Jahres 1836 in Europa wieder

sichtbar werden, um bald darauf ganz zu verschwinden. — Wirklich sah man ihn auch zuerst am 5. August, an welchem Tage er in Rom von Dumouchel aufgefunden wurde. Da er noch außerordentlich schwer zu sehen und selbst mit starken Fernrohren kaum zu unterscheiden war, so verlor man ihn in den nächsten, vom Monde sehr erhellten Nächten auf einige Zeit wieder aus den Augen. Aber sobald die Nächte dunkler wurden, konnte man ihn wegen seiner inzwischen bedeutend vermehrten Helligkeit überall ganz gut beobachten. Alle anderen vorausgesagten Modalitäten trafen ebenfalls so nahe ein als man nur immer fordern konnte.

Die nächste Erscheinung des Halley'schen Kometen steht im Jahre 1910 bevor, wo er nach Pontécoulant am 24. Mai durch das Perihel gehen wird: diese Erscheinung wird sich daher wieder zu einer glänzenden, ähnlich derjenigen des Jahres 1456 gestalten, wo er das Perihel am 8. Juni erreichte.

§ 146. (Physische Erscheinungen des Kometen Halley im Jahre 1835.) Wir wollen nun die wichtigsten Veränderungen anführen, die der Komet bei seiner Annäherung an die Sonne erlitt, und zwar nach Bessel, der sie mit großer Aufmerksamkeit und dem ihm eigenen Scharfblicke verfolgte und auch die wesentlichsten Beiträge zu ihrer Erklärung lieferte.

Anfangs August erschien der Komet als ein blasser Nebelfleck, dessen Mitte sich durch stärkere Zusammendrängung des Nebels auszeichnete; da er sich aber sowohl der Erde als der Sonne näherte, vermehrten sich seine Größe und Helligkeit nach und nach, ohne daß er aber bis zum 1. Oktober irgend eine Eigentümlichkeit hätte hervortreten lassen.

Auf den 2. Oktober hingegen kann man den Anfang einer neuen Periode im Aussehen des Kometen setzen, indem er von diesem Tage an eine Reihe hochinteressanter und lehrreicher Erscheinungen entwickelte. Schon der erste Anblick desselben war an diesem Tage überraschend: sein Mittelpunkt zeigte sich nämlich so hellglänzend, daß es bei schwachen Vergrößerungen schien, als leuchte ein Fixstern sechster Größe durch ihn hindurch; wenn aber eine 100malige und noch stärkere Vergrößerung angewendet wurde, bemerkte man, daß der Unterschied des heutigen Aussehens von dem früheren nur von einer Vermehrung der Helligkeit des Mittelpunktes des Nebels herrührte, nicht von einer Veränderung seiner Beschaffenheit, da er nach wie vor eine Masse von unbestimmter Begrenzung bildete. Dieses blieb sein Anblick während der ganzen Dauer der Erscheinung; man sah nie einen festen Kern, welcher den Körpern der Planeten auch nur einigermaßen ähnlich erschienen wäre.

Die beträchtliche Zunahme der Helligkeit des Kernes war nicht das einzige Bemerkenswerte, was er am 2. Oktober zeigte; von ihm aus ging eine sichtbare Ausströmung von Lichtmaterie, welche an ihrem Anfange, in der Nähe des Kernes, eine beträchtliche Helligkeit besaß und, sowie sie sich von ihm entfernte, schwächer wurde, doch aber bis auf eine Entfernung von 12″ bis 15″ von dem Nebelgrunde unterschieden werden konnte, auf welchem sie lag. Diese Ausströmung

ging in Form eines ausgebreiteten Fächers aus dem Kerne hervor und die Richtung ihrer Mittellinie ziemlich nahe auf die Sonne zu. Der dichteste, auch bei starken Vergrößerungen noch immer ein sternartiges Aussehen beibehaltende Teil des Kernes hatte kaum 2″ Durchmesser: die Entfernung, bis zu welcher die Ausströmung verfolgt werden konnte, war also mindestens 20mal so groß als der Halbmesser des Kernes, während der diesen umgebende Nebel über die Ausströmung hinaus sich noch 12 bis 15 mal weiter erstreckte. Von einem Schweife, welcher etwa die entgegengesetzte Richtung der Ausströmung hätte haben müssen, konnte am 2. Oktober, vielleicht des Mondscheins wegen, nichts bemerkt werden.

Am 8. Oktober hatte die Ausströmung des Kometen sich in ihrer Länge ausgedehnt, aber in der Breite vermindert. Das Bild eines weniger als am 2. ausgebreiteten Fächers paßte nicht mehr ganz, indem sich an der rechten Seite eine Krümmung eingefunden hatte. Ihre Richtung war stärker als am 2. Oktober gegen die Richtung nach der Sonne geneigt; man sah also, daß die Ausströmung nicht immer in der Richtung der Sonne vor sich ging. In der Nacht des 12. Oktober war die Ausströmung noch länger und schmäler geworden als am 8. und wieder auf der rechten Seite gekrümmt. Sie gab dem Kometenkerne das Ansehen einer brennenden Rakete, deren Ausströmen durch Zugwind rechts abgelenkt wird. In dieser Nacht trat auch eine Bewegung des ausströmenden Lichtkegels höchst auffallend hervor. Am Anfange war seine Richtung 19° links von der Richtung zur Sonne; ihre Neigung wuchs aber von Stunde zu Stunde und betrug gegen 3 Uhr morgens 55°.

Am nächsten Abend zeigte sich eine unerwartete Erscheinung; die Ausströmung war verschwunden, und statt ihrer sah man eine große Masse ausgeströmter Lichtmaterie links vom Kerne des Kometen, in einer noch etwas größeren Neigung gegen die Richtung der Sonne als die, bis zu welcher die Ausströmung sich gestern bewegt hatte. Man sah also, daß sie ihre Bewegung nach der linken Seite fortgesetzt hatte, allein daß ihr hier die Kraft, sich in Thätigkeit zu erhalten, geschwunden war.

Am 14. war die Ausströmung nicht nur wieder erschienen, sondern war prachtvoller als am 12. und konnte noch in 45″ Entfernung vom Mittelpunkte des Kernes unterschieden werden. Sie hatte sich von der linken Seite, wo wir sie am 12. verlassen haben, und wo wir am 13. ihre deutlichen Spuren sahen, nach der rechten zurückbewegt und befand sich sehr nahe in der Richtung der Sonne.

Am 15. hatte die Ausströmung ihre Bewegung nach der rechten Seite fortgesetzt und hatte die Richtung, welche man den vorigen Beobachtungen zufolge erwarten konnte. Sie war, in beträchtlicher Neigung gegen die Richtung der Sonne, ohne die gestrige Lebhaftigkeit und schien wieder im Verschwinden begriffen zu sein.

Aus den angeführten Beobachtungen geht die Art der Bewegung der Ausströmung deutlich hervor: am 12. war sie links von der Richtung nach der Sonne und bewegte sich im Verlaufe dieser Nacht noch beträchtlich nach der linken

Seite; am 13. wurde sie selbst nicht gesehen, aber ihr Produkt, die ausgeströmte Lichtmaterie, zeigte, wo sie gewesen war, nämlich auf der linken Seite; am 14. war sie zu der Richtung nach der Sonne, also der rechten Seite, zurückgegangen; am 15. endlich hatte sie ihre Bewegung nach der rechten Seite fortgesetzt und befand sich, in beträchtlicher Neigung gegen die Richtung nach der Sonne auf dieser Seite. Sie hat also eine regelmäßige Bewegung von der Rechten zur Linken und wieder zurück von der Linken zur Rechten, ferner große Lebhaftigkeit gezeigt, wenn sie der Richtung nach der Sonne nahe, geringe dagegen, wenn sie ihr fern war.

Bessel erörtert, daß diese Veränderungen in der Lage der Ausströmung durch eine schwingende Bewegung derselben sich erklären lassen, welche in der Ebene der Kometenbahn um die gerade Linie vor sich geht, die den Kometen mit der Sonne verbindet. Man hat in der That ein getreues Bild dieser Veränderungen, wenn man sich den ausströmenden Lichtkegel als ein Pendel vorstellt, welches sich in der Ebene der Kometenbahn bewegt, am Anfange seiner Bewegung einen Winkel von 60° mit der Richtung der Sonne macht, dann sich dieser Richtung nähert, über sie hinausgeht und nach 2 Tagen 7 Stunden auf der entgegengesetzten Seite wieder zu demselben Winkel von 60° gelangt, von wo ab eine neue Schwingung in entgegengesetzter Richtung mit der vorigen anfängt. Leider verhinderte die ungünstige Witterung Bessel, mehrere solche Schwingungen in unmittelbarer Aufeinanderfolge zu beobachten, und dadurch die Dauer und Amplitude der Periode genauer festzustellen.

Einer solchen schwingenden Bewegung der Ausströmung muß dann aber auch eine entsprechende, uns bisher unbekannte Kraft zu Grunde liegen, die offenbar ihre Wirkung in der Richtung zur Sonne äußert, da diese Richtung eine so bedeutende Rolle bei der Bewegung spielt. Die gewöhnliche Attraktionskraft der Sonne kann es nicht sein; denn obwohl sie auf eine nicht sphärische Masse ähnliche Wirkungen hervorbringen müßte, so ist sie doch nicht so kräftig, um eine so kurze Schwingungsdauer von 2 Tagen 7 Stunden hervorzurufen. Andererseits bewegte sich der Kern des Kometen so genau nach den Kepler'schen Gesetzen, daß die unbekannte Kraft, deren Wirkung hier vorliegt, offenbar nur eine solche sein kann, die keine progressive, sondern bloß eine drehende Bewegung im Kometen hervorruft; sie muß also ähnlich der erdmagnetischen Kraft gedacht werden, welche eine aus ihrer normalen Lage gebrachte Magnetnadel wieder durch Drehung in den magnetischen Meridian zurückführt, ohne die Wirkungen der Schwerkraft auf die Nadel im mindesten zu modifizieren. Es ist dies der erste Fall der gesamten Astronomie, wo man auf das Dasein einer solchen Polarkraft geleitet wird.

Die Ausströmung des Halley'schen Kometen bot noch fernere interessante Veränderungen dar. Sie krümmte sich allmählich nach beiden Seiten von der Linie zur Sonne weg, so daß die Teilchen, welche anfangs der Sonne zugingen, bald anfingen, sich von ihr abwärts zu bewegen. Bessel sah dies unzweideutig

am 22. Oktober, an welchem Tage die Ausströmung von einem beträchtlichen Teile der Oberfläche des Kerns ausging, und nicht mehr wie früher die Figur eines ausgebreiteten Fächers zeigte, sondern einem nach beiden Seiten herabwallenden Federbusche vergleichbar war. Wir besitzen noch Abbildungen des Kometen vom Jahr 1744, von Heinsius gezeichnet, die das, was Bessel am Halley'schen Kometen beobachtete, gewissermaßen vervollständigen. Beide Kometen zeigten die Ausströmung; aber an dem von 1744 ließ sich alles viel deutlicher verfolgen. Der ausströmende Teil der Oberfläche desselben vergrößerte sich immer mehr und dehnte sich nach und nach über die ganze der Sonne zugewandte Hälfte des Kernes aus; die Krümmung der Ausströmung von der Sonne abwärts vermehrte sich und bildete die zwei Schenkel eines Schweifes, welche in den schon vorhandenen Schweif übergingen und sich mit diesem von der Sonne abwärts erstreckten, so daß also die Ausströmung als Anfang der Schweifbildung zu betrachten ist.

Wir haben hier Bessel's Bemerkungen umständlich mitgeteilt, weil sie die erste nähere Untersuchung eines später an den Kometen, 1844 III, 1853 III, 1858 VI, 1861 II, 1862 III, 1874 III u. a. beobachteten Phänomens enthielten, das zuerst Hooke am Kometen von 1680, dann Hooke und Hevel am Halley'schen Kometen 1682 erkannten, und über das bereits Hooke den Bessel'schen sehr ähnliche Ansichten äußerte.

§ 147. (Komet 1862 III.) Von den oben genannten Himmelskörpern zeigte die pendelartigen Schwingungen der Lichtausströmungen in besonders auffallendem Maße der Komet 1862 III, welcher in der zweiten Hälfte des Monates Juli von nicht weniger als 6 verschiedenen Entdeckern [in Nordamerika von Swift in Marathon, Simons in Albany, Tuttle in Cambridge, in Florenz von Pacinotti, in Rom von Rosa und in Kopenhagen von Schjellerup] aufgefunden, und im August, obwohl nur mäßig hell, auch dem bloßen Auge mit einem 10° bis 20° langen Schweife sichtbar wurde. Nach den Beobachtungen von J. F. Schmidt, dem es vergönnt war, unter Athens reinem Himmel die Erscheinung stetig zu verfolgen, ergab sich überdies eine merkwürdige Übereinstimmung in den Perioden der größten Amplitude dieser Schwingungen mit periodischen Helligkeitsschwankungen des Kernlichtes sowie mit der Wiederkehr von ähnlichen Schweif-, Fächer- und Hüllenfiguren, indem die Periode für alle diese Phänomen 2·8 Tage betrug.

Dieser merkwürdige Himmelskörper zeichnete sich überdies durch einen außerordentlichen Wechsel der Gestaltung seines Kopfes und durch eigentümliche Schweifbildungen aus. So zeigte er vom 31. Juli bis 7. August einen Nebenschweif, der mit dem Hauptschweife Winkel zwischen 61° und 73° einschloß, und beiläufig um ebensoviel von der der Sonne entgegengesetzten Richtung abwich. Kurze Zeit nachher zeigte sich der Schweif verzweigt, und bot sonderbare Helligkeitswechsel dar. Am 17. und 18. August war nämlich bloß ein gekrümmter Schweif von

10° bis 12° Länge sichtbar, der am 19. einem anderen, geraden Zweige Platz gemacht hatte, sich aber mit diesem zugleich am 20. wieder zeigte, worauf sich am 21. diesen beiden noch ein dritter kurzer bartförmiger Schweif beigesellte. Am 22. war nur der erste Schweif sichtbar, derselbe hingegen am 23. bereits abermals und zwar für beständig verschwunden, während die beiden anderen wieder erschienen waren, und von nun an die Basis der weiteren Phänomene bildeten. Bemerkenswert ist noch, daß der erstgenannte Schweif nach vorn, d. h. gegen jene Himmelsgegend hin gebogen war, auf welche der Komet zuging, im Gegensatze gegen die allgemeine Regel, nach welcher die Schweife nach Art eines Federbusches gegen den Teil der Bahn hin zurückbleiben, den sie eben verlassen haben. Am 19. und 20. August hatte der Schweif sogar die Figur eines langgezogenen S, indem er zuerst konvex, dann konkav gegen den Polarstern gebogen war, was Schiaparelli aus der Kombination eines vom Kerne ausgehenden, schief gegen den Radius-Vektor wirkenden Stoßes mit einer auf die Schweifpartikelchen ausgeübten Repulsivkraft der Sonne sehr schön erklärt. Eine ähnliche Schweifform wurde übrigens schon von De la Nux auf der Insel Bourbon und von Pingré zwischen Teneriffa und Cadix an dem großen Kometen von 1769 und von Webb an dem Kometen 1861 II bemerkt. Schließlich glaubt Schiaparelli aus gewissen Details in der Gestaltung der Schweife auf Repulsivkräfte der Schweifteilchen untereinander schließen zu müssen, während Bredichin, auf dessen Untersuchung über die Bildung der Kometenschweife wir später (§ 163) ausführlicher zurückkommen werden, der Ansicht ist, daß der Kern des Kometen eine rotierende Bewegung hatte, durch welche er der Sonne stets dieselbe Seite seiner Oberfläche zukehrte, wie der Mond gegen die Erde.

Der Komet 1862 III bietet noch darum ein besonderes Interesse dar, als sich an ihn die hochbedeutsame Entdeckung Schiaparellis über den Zusammenhang zwischen Kometen und Sternschnuppen (Kap. XIV) knüpft, und er zu den periodischen Kometen mit einer Umlaufszeit von rund 120 Jahren gehört.

§ 148. (Komet Encke.) Ein anderer sehr merkwürdiger Komet wurde das erste Mal am 7. Januar 1786 von Méchain entdeckt, hierauf aber nur noch einmal am 19. desselben Monats gesehen, mußte also einstweilen als verloren betrachtet werden, da zwei Beobachtungen zu einer Bahnbestimmung nicht hinreichen. Erst mehr als 30 Jahre später wies Olbers, nachdem die Periodicität des oben genannten Kometen erkannt worden war, mit seinem bekannten Scharfsinn nach, daß die Beobachtungen diesem angehören. Ein zweitesmal fand ihn Miß Karoline Herschel am 7. November 1795 und ein drittesmal Thulis am 18. Oktober 1805, ohne daß man seine in der damaligen Zeit für einen Kometen geradezu unglaublich kurze Umlaufszeit von 3·3 Jahren bemerkt hätte. Diese fand erst Encke auf, als unser Komet am 26. November 1818 zum viertenmale von dem berühmten Kometenjäger Pons in Marseille entdeckt wurde, und sagte seine Wiederkehr für 1822 voraus. Diese Vorhersage ist nicht nur eingetroffen,

sondern das Gestirn seither bei allen seinen 24 zwischen 1818 und 1895 erfolgten Rückkehren zur Sonne wiedergesehen worden. Der Komet hat übrigens auch heute noch die kürzeste unter diesen Himmelskörpern bekannte Umlaufszeit.

Dem äußeren Ansehen nach gehört der Komet zu den kleinen unscheinbaren: er hat eine kugelförmige Gestalt, bei welcher nur die sehr excentrische Stellung des Kernes (S. 513 Fig. 78) eine Schweifbildung erkennen läßt, zeigte übrigens bei seiner Erscheinung im Jahre 1871, eine der günstigsten für seine Sichtbarkeit, nach A. Hall ebenfalls fächerartige vom Kerne ausgehende Lichtbüschel.

Encke zog aus seinen ein volles Menschenalter hindurch sorgfältig fortgeführten Berechnungen dieses Himmelskörpers den Schluß, daß die große Achse seiner Bahn, also nach dem dritten Keppler'schen Gesetze (I § 77) auch seine Umlaufszeit, immer kleiner werde; eine sehr auffällige Erscheinung, da diese Elemente bei allen Planeten durchaus beständig, und keiner Veränderung durch die Störungen (III. Abt. Kap. VII) unterworfen sind. Er suchte die Ursache davon in dem Widerstande, welchen der wahrscheinlich durch den ganzen Weltraum verbreitete Äther, seiner großen Feinheit ungeachtet, einem so lockern und wenig dichten Körper entgegengesetzt, während derselbe auf die viel dichteren Planeten keinen für uns merkbaren Einfluß ausübt.

Auf den ersten Blick könnte es sonderbar scheinen, daß der Widerstand eines Mittels, in welchem sich ein Körper bewegt, die Geschwindigkeit desselben beschleunigen soll. Allein man wird sich erinnern, daß auf einen um die Sonne gehenden Himmelskörper immer zwei Kräfte wirken: die anziehende Kraft der Sonne und die Tangentialkraft, die von einem ursprünglichen Stoße herrührt, welchen der Komet im Anfange seiner Bewegung erhalten hat. Vermöge der letzten Kraft bestrebt sich der Komet, in jedem Augenblicke nach der geradlinigen Tangente seiner Bahn fortzugehen, von welcher er durch die erste Kraft immer wieder der Sonne genähert wird. Die Gesamtwirkung beider Kräfte macht ihn dann in der krummen Bahn fortgehen, die er in der That um die Sonne beschreibt. Durch den Widerstand jenes Mittels wird nun die Tangentialkraft vermindert, und das ist, da es sich hier nur um die Verhältnisse beider Kräfte handelt, ganz ebensoviel, als ob die Attraktionskraft der Sonne vermehrt worden wäre, so daß also die Sonne ihn näher zu sich ziehen kann und eben dadurch auch seine Geschwindigkeit vermehren und seine Umlaufszeit vermindern muß.

Encke's Hypothese wurde übrigens von mehreren Seiten, namentlich von Bessel entschieden bestritten, der seinen oben (§ 146) auseinandergesetzten Theorien gemäß, Veränderungen in der elliptischen Bewegung der Kometen durch die Reaktion der Ausströmungen gegen den Kern erklärt, wonach jene Veränderungen nicht in gleicher Weise bei jedem Periheldurchgange erfolgen würden. Das letztere fand bereits v. Asten bestätigt, der Encke's Rechnungen über diesen Kometen teilweise revidierte und bis 1878 fortsetzte. Noch entschiedener geht dies aus der umfassenden, das ganze vorhandene Beobachtungsmaterial erschöpfenden Neu-

bearbeitung von Backlund hervor, die ihn zu dem Resultate führte, daß in der Bewegung des Encke'schen Kometen zeitweilig Störungen eintreten: mit anderen Worten, daß eher unregelmäßige Änderungen der Umlaufszeit, als eine regelmäßige Verkürzung derselben stattfinde; es ist daher auch in der That noch keineswegs als erwiesen zu betrachten, daß die Unregelmäßigkeiten in der Bewegung dieses Himmelskörpers vom widerstehenden Mittel herrühren. Übrigens müßte nach der heute gangbarsten, von Zöllner aufgestellten, Ansicht über die Natur der Kometen (§ 163), welche diese Himmelskörper aus flüssigen Meteormassen bestehen läßt, die bei der Annäherung zur Sonne ins Sieden geraten, die Dampfentwickelung, wie zuerst v. Asten hervorhob, je nach den zeitweiligen kalorischen Zuständen der Sonne verschieden ausfallen, wodurch Unregelmäßigkeiten im Laufe des Kometen entstehen könnten.

Schließlich möge noch hervorgehoben werden, daß die Bahn des Kometen sehr nahe an der Bahn von Merkur vorüberzieht, und daß bereits mehrere sehr starke Annäherungen desselben an diesen Planeten beobachtet wurden, welche bisher das beste Mittel zur Bestimmung der Merkursmasse gegeben haben.

§ 149. (Komet Biela.) Nicht minder interessant ist der Komet, welchen Biela, ein österreichischer Offizier, am 28. Februar 1826 zu Josephstadt in Böhmen entdeckt und von dem er auch zuerst die Umlaufszeit zu 6 Jahren und 270 Tagen angegeben hat. Von Morstadt auf die mögliche, nachher bestätigte Identität der Kometen von 1806 und 1772 und die daraus folgende Wiederkehr für 1826 aufmerksam gemacht, hatte Biela diesen Himmelskörper vorsätzlich gesucht, während ihn Gambart ganz zufällig schon einige Tage früher aufgefunden hatte.

Die vorletzte beobachtete Wiedererscheinung desselben in den Jahren 1845 und 1846 bot besonderes Interesse. Aus den Elementen und der Ephemeride von Santini in Padua ergab sich, daß er in den letzten Monaten des Jahres 1845 der Erde schon nahe genug kommen werde, um gut gesehen zu werden, und zufolge seiner Stellung am Himmel ziemlich lange unter sehr günstigen Verhältnissen sichtbar bleiben werde. Er wurde auch am 26. November 1845 zuerst in Rom und am 28. November in Berlin ganz in der Nähe des von Santini angegebenen Ortes aufgefunden.

Der Komet zeigte anfangs durchaus nichts auffallendes. Er erschien, wie bisher immer (1772, 1806, 1826, 1832), als ein ziemlich verwaschener Nebel mit einer kleinen helleren Verdichtung in der Mitte und einem kleinen Schweife. Allein bereits am 29. Dezember 1845 sahen ihn Henrick und Bradley auf der Sternwarte des Yale College zu Newhaven von einem schwachen Nebelkerne begleitet, der dem Hauptkerne um etwas mehr als 1′ vorausging. Einige wenige weitere Beobachtungen, welche Wolken und Mond bis Mitte Januar zu machen gestatteten, zeigten, daß der Nebenkomet rascher an Helligkeit zunahm, als der andere und sich langsam von ihm entfernte. Es wurde daher von Mitte Januar an diese merkwürdige Erscheinung allgemeiner wahrgenommen, so zunächst am

13ten von Maury in Washington, am 15ten von Challis in Cambridge und von Wichmann in Königsberg, und sie gewann durch die zunehmende Nähe des Kometen bald so sehr an Deutlichkeit, daß sie auch mit schwachen Fernrohren gesehen werden konnte. Der hellere der beiden Nebel stand etwas südlicher und folgte dem schwächeren in Rektaszension. Bei beiden war eine Spur von Schweifen deutlich zu erkennen, deren Richtung senkrecht gegen die Verbindungslinie der beiden Kometenköpfe stand. Ungünstiges Wetter und der Vollmond verhinderten Ende Januar und Anfang Februar die Beobachtung auf den meisten Sternwarten. Desto mehr überrascht mußte man sein, als gegen die Mitte des Februar der schwächere Kern in einem viel rascheren Verhältnis als der hellere an Licht zugenommen hatte und diesen endlich an Helligkeit sogar übertraf. Am 12. Februar schätzten Plantamour und Bruderer beide Kerne als gleich lichtstark, und an diesem Tage scheint die Hauptentwicklung des zweiten, bisher schwächer gewesenen Kernes vor sich gegangen zu sein. Am 14. Februar war der südlich nachfolgende schon entschieden der schwächere. Dieser Wechsel dauerte indessen nicht lange, indem am 18. Februar das alte Verhältnis ziemlich wiederhergestellt und der südliche Kern der hellere war, der zugleich gegen die Mitte zu eine bedeutend stärkere Konzentration der Masse zeigte als vorher. Überhaupt waren die Veränderungen in der Ausdehnung beider Nebel während der ganzen Zeit höchst beträchtlich.

Bei der Sichtbarkeit des Kometen im Jahre 1852 zeigten sich dieselben merkwürdigen Erscheinungen. Leider war die Stellung des Kometen am Himmel den Beobachtungen minder günstig, indem er nur kurz vor der Morgendämmerung zu sehen war. Am 25. August fand Secchi den einen Kern, den zweiten aber erst am 15. September, und zwar in unerwartet großem Abstande vom ersten. Auch bei dieser Erscheinung zeigten die beiden Kerne einen gegenseitigen Lichtwechsel. Bezeichnet man nämlich den zuerst wieder aufgefundenen Kern mit I, den zweiten (nördlich vorangehenden) mit II, so war:

September 15. I viel schwächer als II.
= 17. I gleich II.
= 19. I heller als II.
= 20. I nahe gleich II.
= 23. I erheblich schwächer als II.
= 25. I bedeutend schwächer als II.

Als Abstand der beiden Kerne in Halbmessern des Erdäquators ergeben D'Arrest's Elemente für den Mittag von Berlin:

1852, August 27. . .	378·7	Sept. 16. . .	407·7
= 31. . .	386·4	= 20. . .	409·7
Sept. 4. . .	393·4	= 24. . .	410·0
= 8. . .	399·3	= 28. . .	408·5
= 12. . .	404·1		

Die gegenseitige Entfernung beider Köpfe war also im Jahr 1852 am größten um die Zeit des Periheldurchgangs (Sept. 23). Dasselbe fand auch bei der Sichtbarkeit von 1846 statt, wie schon früher Hubbard und D'Arrest bemerkt hatten. Es war nämlich wieder in Äquatorialhalbmessern der Erde und für den Berliner Mittag der betreffenden Tage die wechselseitige Distanz beider Kerne:

1846, Januar 14. . .	44·64	Febr. 23. . .	48·34
= 19. . .	45·87	= 28. . .	48·08
= 24. . .	47·00	März 5. . .	47·78
= 29. . .	47·81	= 10. . .	46·31
Februar 3. . .	48·29	= 15. . .	45·41
= 8. . .	48·53	= 20. . .	44·46
= 13. . .	48·63	= 25. . .	43·48
= 18. . .	48·63		

Durch das Perihel war der Komet damals gegangen am 11. Februar. D'Arrest hob mit Recht hervor, daß man ein wiederholtes Zusammentreffen des größten Abstandes zwischen beiden Kernen mit den Periheldurchgängen kaum für ein zufälliges wird erklären wollen. Ohne daran weitere Betrachtungen über die abstoßende Kraft der Kerne, die im Perihel am größten wäre, zu knüpfen, erinnert man sich doch unwillkürlich an die Erscheinungen geschweifter Kometen, bei welchen auch die Abstoßung, welche von seiten des Kernes auf die Schweifteilchen geübt zu werden scheint (§§ 146, 147), in der Sonnennähe ihr Maximum erreicht.

Das Zerfallen eines Himmelskörpers in mehrere Teile ohne eine irgend wie ersichtliche Ursache, erschien vielen Astronomen der damaligen Zeit ein so unwahrscheinliches Ereignis, daß sie mit Rücksicht auf die großen relativen Helligkeitsänderungen zwischen den beiden Kernen, die Hypothese äußerten, der Komet sei bereits bei seinen früheren Erscheinungen doppelt gewesen, und nur wegen der Lichtschwäche des einen Kernes einfach gesehen worden. Hingegen seien die Erscheinungen von 1846 und 1852 in das Maximum der Helligkeit des zweiten Kernes gefallen, und dadurch auch er sichtbar geworden. Dem entgegen kommt jedoch zunächst zu erwähnen, das Hind vor der Trennung eine Protuberanz des Hauptkernes gegen die Seite hin wahrnahm, wo später der zweite Kopf erschien, wie auch Maury anfangs einen Zusammenhang der beiderseitigen Nebelhüllen erkannt haben will. Noch mehr spricht aber gegen diese Ansicht die sehr bedeutende Vergrößerung der Entfernung der beiden Kometenkerne, die nach den oben mitgeteilten Zahlen zwischen den Perihelpassagen von 1846 und 1852 stattgefunden hat. Aus derselben hat auch Hubbard, dem wir die eingehendsten Untersuchungen über diesen Kometen verdanken, den Zeitpunkt zu ermitteln gesucht, in welchem die Teilung desselben erfolgte und gefunden, daß sie wahrscheinlich im November 1844 in einer heliocentrischen Länge von 318·6° und heliocentrischen Breite von + 12·0° bei einem Radius Vektor von 4·36 Halbachsen der Erdbahn stattgefunden

habe. Diese Entfernung erreichen mehrere Asteroiden wie Hilda, Ismene, Henrietta, Thule u. s. w., so daß die Katastrophe von einem solchen verursacht worden sein könnte, allerdings aber nur von einem bis jetzt noch unbekannten.

Übrigens steht heute die Teilung eines Kometen nicht mehr vereinzelt da, indem seither das Ablösen von Nebelmassen vom Hauptkörper eines solchen Gestirnes schon mehrmals sich wiederholt hat, und am 26. Februar 1860 auch E. Liais in Olinda (Brasilien) einen Doppelkometen auffand. Ebenso erwähnt Seneca, daß Ephorus von dem Kometen des Jahres 371 v. Chr. berichte, derselbe habe sich in zwei gespalten. Vielleicht sind auch als Vorläufer dieser merkwürdigen Erscheinung die mehrfachen Kerne zu betrachten, welche man schon durch Cysat und Wendelin an dem Kometen von 1618 sowie durch Hevel an dem von 1652 kannte, und in neuerer Zeit häufig beobachtet hat, unter anderen am Kometen 1853 III.

Die auf die Erscheinung des Bielaschen Kometen von 1852 im Jahre 1859 folgende trat unter so ungünstigen Sichtbarkeitsverhältnissen ein, daß man schon von vornherein nicht erwartet hatte, ihn dabei zu sehen. Allein er wurde auch seither weder bei der sehr günstigen Rückkehr im Jahre 1865 noch auch in den späteren der Jahre 1872, 1879, 1885 und 1892 unter Umständen nicht wiedergefunden, die an einer weiteren Zerteilung und Auflösung dieses Himmelskörpers kaum zweifeln lassen, indem in den Jahren 1872 und 1885 bei dem Durchgange der Erde durch die Bahn des Kometen am 27. November großartige Sternschnuppenfälle sich ereigneten, über deren Zugehörigkeit zu dem Kometen kein Zweifel obwalten kann. Wir kommen im folgenden Kapitel ausführlicher darauf zurück.

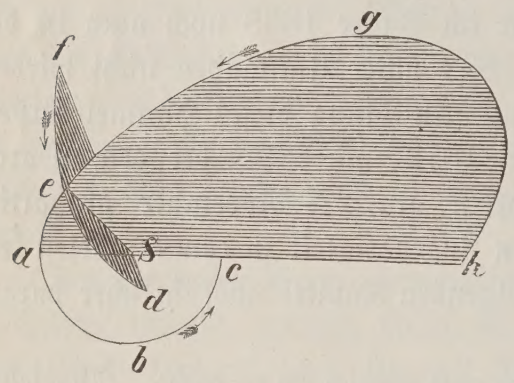
§ 150. (Bemerkungen über das Zusammentreffen eines Kometen mit der Erde.) Abgesehen von den Asteroiden umschließen sich die Bahnen der übrigen Hauptplaneten in nahezu concentrischen, weit von einander abstehenden Ringen, so daß eine Begegnung oder auch nur eine starke Annäherung des einen an den anderen unmöglich ist, so lange nicht eine oder die andere dieser Bahnen eine völlige Änderung erleidet. Anders verhält sich dies bei den Kometen, deren Bahnen, wie wir wissen, regellos im Raume zerstreut und langgestreckte Kegelschnitte sind: bei diesen können sehr wohl starke Annäherungen unter einander als auch an Planeten unseres Sonnensystemes stattfinden. Handelt es sich um Annäherungen an die letzteren, so finden diese im allgemeinen nur dann statt, wenn der Komet in einem seiner Knoten, d. h. in der Ekliptik steht, weil die Planeten sich in Bahnen bewegen, die gegen diese Ebene nur eine geringe Neigung besitzen. So liegt bei Encke's Komet der aufsteigende Knoten in der Länge von 334°, folglich der niedersteigende in 154°, und da die Apsidenlinie sehr nahe mit der Knotenlinie zusammenfällt, indem die Länge des Perihels 158° beträgt, ist der Radiusvektor beim aufsteigenden Knoten der Apheldistanz, der beim niedersteigenden der Periheldistanz des Kometen sehr

nahe gleich. Die erstere beläuft sich auf 4·09 Erdbahnhalbaxen, liegt also noch innerhalb des Asteroidengürtels, die letztere auf 0·34 und kommt der Merkursbahn sehr nahe. Der Encke'sche Komet kann sich daher in beiden Knoten seiner Bahn Planeten nähern: im aufsteigenden verschiedenen Asteroiden, im niedersteigenden dem Merkur. Die Annäherungen an den letzteren haben, wie bereits erwähnt (§ 148), eine günstige Gelegenheit zur Bestimmung der Masse des Planeten geboten.

Die Bahn des Encke'schen Kometen durchschneidet auch die Bahn des Biela'schen, welche letztere in ihrem niedersteigenden Knoten hart an der Erdbahn vorüberführt.

Um dies besser zu übersehen, haben wir in Fig. 81 die Bahn der Erde abc, die des Encke'schen Kometen def und endlich die des Biela'schen aeg in ihrer wahren gegenseitigen Lage verzeichnet. Die Brennpunkte aller drei Bahnen liegen in der Sonne S. Die beiden Kometenbahnen sind gegen die Ekliptik, welche hier durch die Erdbahn oder durch die Ebene des Papiers dargestellt wird, unter den Winkeln von 13° und 18° geneigt, und man sieht von diesen zwei Kometenbahnen in der Zeichnung nur denjenigen Teil, der über der Ebene der Ekliptik liegt; der aufsteigende Knoten der Encke'schen Bahn ist in f, der absteigende in d, während der aufsteigende Knoten der Biela'schen in h und der absteigende in a liegt.

Fig. 81.



Man bemerkt schon beim ersten Blick auf diese Zeichnung, daß die Bahn des Biela'schen Kometen die Erdbahn in ihrem absteigenden Knoten a nahezu schneidet, und daß daher, wenn in der Folge der Zeiten einmal der Komet und die Erde zu gleicher Zeit in diesem Punkte a ankommen sollten, ein Zusammenstoß beider Weltkörper herbeigeführt werden würde. In dem aufsteigenden Knoten h dieser Bahn ist dergleichen offenbar nicht zu besorgen, da dieser Punkt sehr weit von allen Punkten der Erdbahn abc entfernt ist. Dasselbe gilt auch von den beiden Knoten d und f der Encke'schen Bahn, von welchen der eine d wohl innerhalb der Erdbahn, aber doch auch, wie der andere f, immer sehr weit von der Peripherie abc derselben absteht.

Die Bahnen des Biela'schen und Encke'schen Kometen begegnen sich im Punkte e. Berechnet man die Lage desselben mit den Elementen, welche die beiden Kometen 1846 besaßen, so findet man für die gemeinschaftliche Durchschnittslinie Se dieser zwei Bahnen den Winkel dSe = 45° 16′ und hSE = 132° 12′. Der Punkt e liegt daher von der Sonne gesehen in einer helio-

centrischen Länge von 18·8° und nördlichen Breite von 9·3°, und ist von dem ihm nächsten Punkte der Erdbahn nur 0·65 Halbmesser dieser Bahn entfernt. Hätte nun der Biela'sche Komet sich nicht inzwischen aufgelöst, und eine Begegnung der beiden Kometen um die Mitte Oktober sich ereignet, so wären unsere Nachkommen in der Lage gewesen, das großartige Schauspiel der gegenseitigen Zerstörung solcher Himmelskörper zu erblicken.

Dem obigen zufolge hätte aber der Biela'sche Komet auch mit unserer Erde in Konflikt geraten können. Die große Annäherung seiner Bahn an die Erdbahn wurde auch bald nach der Entdeckung seiner Periodizität erkannt, und aus seinen Elementen gefolgert, daß er bei seiner nächsten Rückkehr zum Perihel am 29. Oktober 1832 in einer Entfernung von nur 2·3 Erddurchmessern, also in einer 13mal geringeren als der Mond an der Erdbahn vorübergehen würde. An der Erdbahn sagen wir, nicht an der Erde selbst, welche an jenem Tage noch über 95 Millionen km von jenem Punkte entfernt war, da sie ihn erst am 27. November passirte. Die kurze, aber so wichtige Endsilbe „Bahn" wurde aber mehrfach übersehen, und infolgedessen ein Zusammenstoß des Kometen mit der Erde vorausgesagt, und diese Katastrophe in so grellen Farben geschildert, daß sie Bangen und Schrecken in weiten Kreisen verbreitete.

Mittlerweile sind wir wegen der wahrscheinlichen Zerstreuung dieses Kometen der Besorgnis vor demselben überhoben: was aber haben wir etwa von anderen zu hoffen oder zu fürchten? Ihrer sind, wie wir wissen, sehr viele; sie schwärmen in allen Richtungen um die Erde herum, und die Fälle, wo ihre Bahn die der Erde durchkreuzt, keineswegs so selten, wie man bisher glaubte, indem man jetzt schon eine ganze Reihe von Kometen kennt, deren Bahnen eine nahezu ebenso besorgliche Lage haben, wie die des Biela'schen. Um nur einige größere Gestirne dieser Art zu nennen, führen wir an die Kometen 1861 I und II; 1862 II, III und VI; 1866 I u. s. w. Wie leicht wäre es da möglich, daß einer derselben der Erde begegnete, und daß er dann große Verwüstungen auf ihr erzeugen, ja am Ende die ganze Erde selbst zerstören oder mit sich in die ungemessenen Räume des Himmels fortreißen könnte. Wenn ein solcher der Erde begegnender Komet, oder wenn auch nur sein Kern eine feste Masse und von einer in Beziehung auf unsere Erde beträchtlichen Größe sein sollte, so muß man allerdings gestehen, daß ein Zusammenstoßen desselben mit der Erde für uns sehr verderbliche Folgen haben müßte. Denn wer von uns hat nicht schon selbst die Erfahrung gemacht, daß man in einem schnell fahrenden Wagen, wenn die Pferde plötzlich stille stehen, oder wenn der Wagen an ein nicht zu überwindendes Hindernis stößt, von seinem Sitze gleichsam vorwärts geworfen wird, und zwar desto heftiger, je größer die Geschwindigkeit des Wagens war, die durch jenes Hindernis aufgehoben oder gestört wurde. Um wie vieles bedeutendere Verheerungen treten aber bereits bei dem Zusammenstoße zweier Eisenbahnzüge ein. Wenn nun unsere Erde, ein großer Waggon, in welchem

wir alle mit einer Geschwindigkeit von nahezu 30 km in der Sekunde um die Sonne herumfahren, an einen Kometen von solider Masse anstoßen sollte, was für verderbliche Folgen müßte nicht erst dies herbeiführen? Wir und alles Bewegliche, die Gewässer der Flüsse und Meere, unsere Häuser, ja selbst unsere Felsen würden gegen den gestoßenen Punkt der Erde hinstürzen und gleichsam vorwärts fallen; der ganze Ocean würde seine Gestade verlassen und von allen Seiten an jenen Ort hin eilen, auf seinem Wege alle Menschen und Tiere verschlingen, unsere Städte und Wälder niederreißen, alle Länder überschwemmen und selbst die höchsten Gegenden mit seinen schäumenden Fluten bedecken; ganze Geschlechter lebender Wesen würden ihren Untergang finden; alle Denkmäler menschlichen Fleißes und Kunstsinnes würden vernichtet werden u. s. w.

Dieses Gemälde ist finster genug, aber nicht übertrieben: es machte also der Schrecken, welcher früher die Erscheinung eines Kometen in abergläubischen Gemütern verbreitete, in unseren Tagen nur der, wie es scheint, begründeteren Besorgnis Platz, daß einer dieser zahllosen Himmelskörper an die Erde stoßen, und den Untergang alles auf ihr Lebenden nach sich ziehen könnte. Dem ist jedoch nicht so. Das Eintreten dieses fürchterlichen Ereignisses ist an die Voraussetzung geknüpft, daß der die Erde treffende Komet ein dichter, fester und in Beziehung auf die Erde auch ein beträchtlich großer Körper sei. Wir haben aber bereits im Vorhergehenden mehr als einmal Gelegenheit gehabt, zu bemerken, daß die Kometen mit größeren festen Körpern ganz und gar keine Ähnlichkeit haben, daß sie vielmehr allem Anscheine nach aus diskreten, weiter durch kein Medium von irgend merkbarer Dichte verbundenen Körperchen bestehen. Wenn dem so ist, so haben wir von der Gewalt des Stoßes ebenso wenig als etwa von irrespirablen Atmosphären zu fürchten und können in jedem der unzähligen Meteorsteinfälle das Zusammentreffen mit einem Kometen erblicken. Und sollte ja einmal ein solcher Himmelskörper einen Kern besitzen, der die größten bisher gefallenen Meteorsteine auch erheblich an Größe übertrifft, so würde daraus für die Erde im Ganzen und Großen doch noch lange keine Gefahr eintreten: es würden nur lokale Katastrophen sich einstellen, ähnlich denen, die dem bekannten Ausbruche des Krakatoa folgten. Kann aber selbst ein ehemals so gefürchtetes Zusammentreffen mit diesen Körpern, das nebenbei gesagt vielleicht schon oft ganz unbemerkt sich ereignet hat, ohne alle verderblichen Folgen für uns stattfinden, so ist selbstverständlich von einem bloßen näheren Vorübergange eines Kometen noch weniger zu besorgen.

§ 151. (Der periodische Komet von Faye.) Die Entdeckung dieses Kometen fällt auf den 22. November 1843, wo er von Faye in Paris aufgefunden wurde. Er erschien dem bewaffneten Auge als ein kleiner, schwach leuchtender Nebel, jedoch mit sehr merklicher Verdichtung in der Mitte, die bei schwacher Vergrößerung fast das Ansehen eines planetarischen Kernes darbot; aber schon bei einer etwa 200fachen Vergrößerung war von einem eigentlichen Kerne keine Spur zu ent-

decken, sondern es zeigte sich nur ein allmähliches Hellerwerden der Nebelmasse gegen die Mitte zu, ohne daß jedoch die hellste Stelle genau im Mittelpunkte des Nebels gewesen wäre. Der Schweif war deutlich zu erkennen; seine scheinbare Länge betrug nach O. Struve's Messung am 19. Dezember ungefähr 16′, welches mit Rücksicht auf seine damalige Entfernung von der Erde auf eine wirkliche Länge von 750 000 km schließen läßt. Struve verfolgte den Kometen bis zum April 1844, wo er noch eine schwache Spur von ihm erkennen konnte, und fand während der ganzen Sichtbarkeit dessen Gestalt ähnlich der eines ausgebreiteten Fächers.

Die Abnahme der Lichtstärke erfolgte anfangs langsam, später sehr rasch. O. Struve schätzte noch um die Mitte des Dezember den Totaleindruck des Kometen gleich dem eines Sternes der 6. bis 7. Größe und glaubte sogar, ihn bisweilen mit bloßen Augen unterscheiden zu können; um die Mitte des Februar war er schon so schwach, daß die Beobachtungen an den meisten Sternwarten aufgegeben werden mußten, und nur das Pulkowaer Instrument, damals das weitaus stärkste der Welt, erlaubte es, dieselben noch mehrere Wochen fortzusetzen.

Sehr bald zeigte sich aus den Rechnungen, daß die Bahn dieses Kometen eine Ellipse sei, die von der Kreisform weniger abweiche als die irgend eines andern damals bekannten Kometen, und daß die Umlaufszeit nahe 7 Jahre betrage. Sorgfältige, auf eine größere Anzahl von Beobachtungen gegründete Bahnbestimmungen wurden insbesondere von Goldschmidt und Nikolai, und mit Rücksicht auf die Störungen, die der Komet während seiner Sichtbarkeit von den Planeten des Sonnensystems erlitten, von Le Verrier durchgeführt. Als Resultat seiner Untersuchungen erhielt letzterer folgende elliptische Bahn:

Zeit des Perihels: 1843, Oktober	17·15435 mittl. Par. Zeit.
Distanz des Perihels	1·69258
Halbe große Achse	3·8116
Excentricität	0·55596
Länge des Perihels	49° 34′ 19″
Länge des aufsteig. Knotens	209 29 19
Neigung	11 22 31

Die Umlaufszeit ist nach diesen Elementen 2718 Tage oder 7 Jahre und $5^1/_2$ Monate, und dieser Komet ist denn auch bei den Perihelpassagen der Jahre 1851, 1858, 1865, 1873, 1881, 1888 und 1896 wieder beobachtet worden.

§ 152. (Anfertigung des Modelles einer Kometenbahn.) Um zu sehen, wie die Bahn eines Kometen zwischen den Planetenbahnen liegt, werden wir zeigen, wie man sich nach den Elementen ein kleines Modell entwerfen kann, welches von allen Umständen der Bewegung eine beiläufige Übersicht giebt. Zu diesem Ende zeichnen wir uns auf starkem Papier die Erdbahn, die man hierbei füglich als einen Kreis ansehen kann. Den Maßstab wird man beliebig wählen, z. B. so, daß der Halbmesser der Erdbahn gleich 3 cm wird. Fig. 82 stelle

diesen Kreis vor. Durch seinen Mittelpunkt S, also den Ort der Sonne, ziehen wir eine beliebige Gerade, welche die Peripherie der Erdbahn in A und B trifft und welche, über B hinaus bis an den Himmel verlängert, zum Frühlingspunkte ♈ gehen soll. Teilt man dann die Peripherie der Erdbahn in 12 gleiche Teile und schreibt man an die 12 Teilungspunkte die Tage, welche die Figur zeigt, sodaß auf A der 21. März fällt, weil man an diesem Tage die Sonne im Frühlingspunkte sieht, so hat man ein genähertes Bild der Bewegung der Erde um die Sonne. So wie die Erdbahn kann man sich auch die Kometenbahn zeichnen, welches folgendermaßen geschieht. Man ziehe in Fig. 83 eine gerade Linie PQ, welche die große Achse der Ellipse werden soll. Sie muß für unseren Kometen eine Länge von $6 \times 3{\cdot}81 = 22{\cdot}86$ cm erhalten. Halbiert man sie in C und trägt man von C nach F und nach F′ die Länge $11{\cdot}43 \times 0{\cdot}556 = 6{\cdot}36$ cm, d. h. das Produkt aus der halben großen Achse in die Excentricität auf, so sind F und F′ die beiden Brennpunkte der Ellipse. Befestigt man hierauf einen Faden von 22·86 cm Länge mit seinen beiden Endpunkten in F und F′ und spannt ihn mit einem Stifte (I, § 75), so wird dieser Stift, indem man ihn bei fortwährend gespanntem Faden weiter bewegt, die Ellipse unseres Kometen beschreiben. Nimmt man dann F als denjenigen Brennpunkt an, wo die Sonne steht, so ist P das Perihel des Kometen. Nun suche man den Winkel zwischen dem Perihel und dem aufsteigenden Knoten, welcher gleich ist der Länge des Perihels weniger der Länge des Knotens, in unserem Falle also 49° 34′ weniger 209° 29′, d. h. 200° 5′, und ziehe durch F eine Linie FΩ, welche mit FP (im entgegengesetzten Sinne des Pfeiles gezählt) einen Winkel $PF\Omega = 200° 5'$ bildet, so wird diese Linie die Durchschnittslinie der Kometenbahn mit der Erdbahn sein. Zugleich ziehe man in der Erdbahn Fig. 82 die Linie SΩ, welche mit S♈, im Sinne des Pfeiles gerechnet, einen Winkel bildet, der gleich ist der Länge des aufsteigenden Knotens, also gleich 209° 29′, so wird die Linie SΩ gleichfalls die Durchschnittslinie von Erdbahn und Kometenbahn sein. Schneidet man dann die Kometenbahn vom Punkte Ω bis F und ebenso die Erdbahn in der verlängerten Linie ΩS von D bis S durch und

Fig. 82.

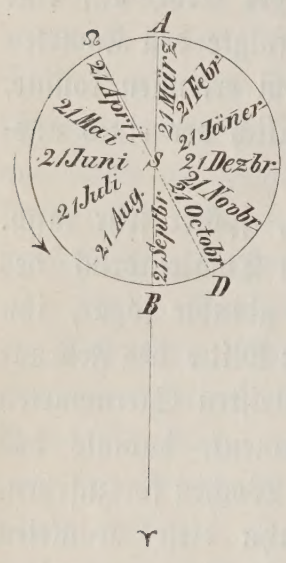
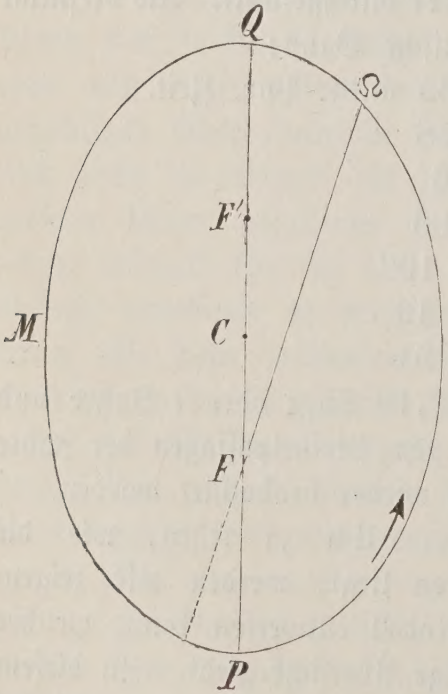
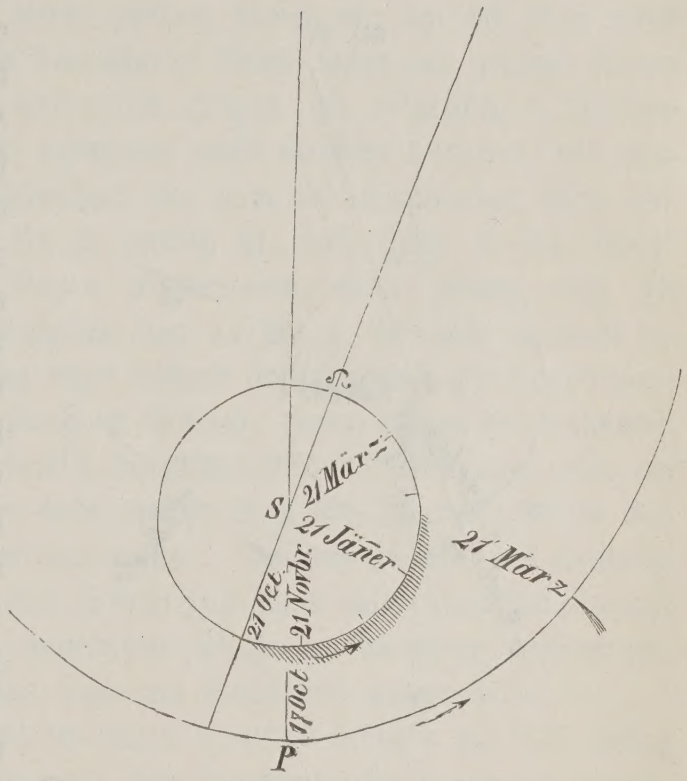


Fig. 83.



steckt beide in der Richtung der Schnitte in einander, sodaß der Punkt F und die Linie FΩ in Fig. 83 bezw. auf den Punkt S und die Linie SΩ in Fig. 82 und zugleich der Teil ΩQM der Kometenbahn oberhalb der Erdbahn zu liegen kommt, so haben mit Ausnahme der Neigung beide Bahnen die der Natur entsprechende gegenseitige Lage. Stellt man noch die gehörige Neigung von 11° 22′ her, so hat man ein getreues Bild der Kometenbahn. Die Richtung der beiden Pfeile giebt zugleich die Richtung der Bewegung sowohl der Erde als des Kometen an. Denkt man sich das Auge in der Senkrechten, welche in der Sonne auf die Ekliptik errichtet wird, so stellt sich demselben das Modell beiläufig so dar, wie Fig. 84 es zeigt. Man sieht hier sofort, daß der Komet in der Nähe des Perihels der Erde ziemlich am nächsten war, und daß er ihr nie näher kommen kann, als etwa die Hälfte ihrer Entfernung von der Sonne beträgt. Man sieht ferner, wie rasch er sich vom Januar an von der Erde entfernte, und wie schnell, da zugleich die Entfernung von der Sonne bedeutend im Zunehmen begriffen war, seine Lichtstärke abnehmen mußte. Endlich sieht man auch den Grund der langen Sichtbarkeit ein; Erde und Komet bewegten sich nämlich beide in demselben Sinne und fast parallel zu einander vorwärts, und dies zwar vom Oktober bis Januar. Vom Januar wandte sich aber die Erde seitwärts ab vom Kometen und rückte endlich im März und April fast senkrecht gegen die Richtung seiner Bewegung sehr schnell von ihm weg, es nahm daher seine Lichtstärke rasch ab, was seiner Sichtbarkeit alsbald ein Ziel setzte.

Fig. 84.

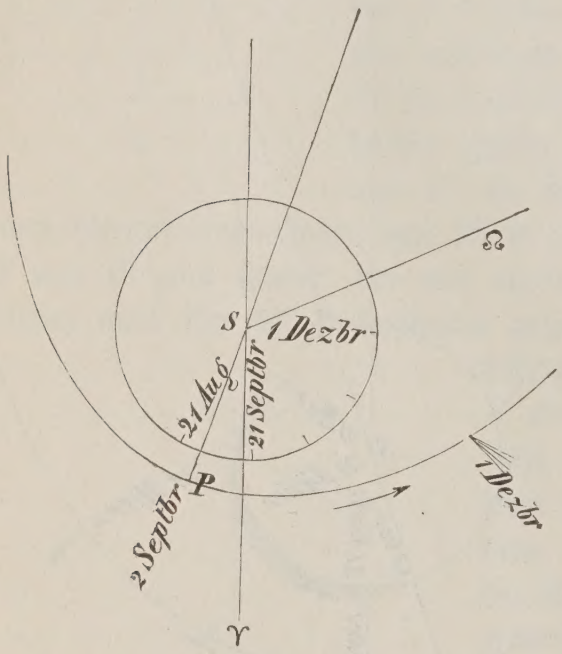


§ 153. (Die Kometen 1844 I und 1894 IV.) Am 22. August 1844 entdeckte de Vico in Rom, der sich damals mit der Aufsuchung von Kometen eifrig und mit Glück beschäftigte, im Sternbilde des Walfisches einen neuen Himmelskörper dieser Art, der zwar klein, aber mit einem hellen, ziemlich scharf begrenzten Kerne versehen war. Seine Lichtstärke war anfangs nicht unbedeutend, und einige Beobachter wollen ihn im September sogar mit unbewaffnetem Auge gesehen haben; aber er wurde fort und fort schwächer an Licht und konnte schon um die Mitte Dezember nicht mehr beobachtet werden. Seine scheinbare Bewegung am Himmel

war langsam und regelmäßig; seine Entfernung von der Erde betrug, in Teilen der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne ausgedrückt, am 22. August 0·20, am 1. September 0·19, am 1. Oktober 0·24, am 1. November 0·39, am 1. Dezember 0·71 u. s. f. Die kleinste Distanz war also ungefähr 30 Millionen km.

Was diesen Kometen am meisten auszeichnet, ist seine kurze Umlaufszeit. Alle Bemühungen der Astronomen, auf die ersten Beobachtungen, die man von ihm erhalten hatte, eine parabolische Bahn zu gründen, schlugen fehl, und es war also nicht zu zweifeln, daß die wirkliche Bahn sehr von der Parabel abweichen müsse. Man fand auch in der That sehr bald, daß er in einer Ellipse von nahe 5·5 Jahren Umlaufszeit und einer Excentricität von etwa 0·6 einhergehe; eine um so überraschendere Erscheinung, als vor der Entdeckung des Kometen von Faye im Jahre 1843 nur zwei Kometen von kurzer Umlaufszeit bekannt waren, nämlich der Encke'sche und der Biela'sche, und nun in einem Zeitraume von einem Jahre schon ein Zuwachs von zwei neuen hinzukam. Die genauesten Elemente mit Berücksichtigung der Störungen der Planeten berechnete Brunnow für diesen Himmelskörper; wir lassen sie hier folgen und setzen ihnen aus später zu ersehenden Gründen gleich die Elemente des vierten Kometen von 1894 an die Seite.

Fig. 85.



	1844 I	1894 IV
Zeit des Perihels	Sept. 2·4805	Okt. 12·169
Länge des Perihels	342° 30·8′	345° 20·1′
Länge des aufsteig. Knotens	63 49·0	48 35·4
Neigung	2 54·8	2 58·8
Periheldistanz	1·186399	1·39104
Excentricität	0·617654	0·56892
Umlaufszeit	5·45 Jhr.	5·80 Jhr.
Berechner	Brunnow	Schulhof

Da die Neigung sehr klein ist, so kann man die Lage der Kometenbahn gegen die Erdbahn sehr gut ohne Modell in einer einfachen Zeichnung darstellen. Fig. 85, welche, verglichen mit Fig. 84, keiner näheren Erläuterung bedarf, leistet dieses ganz genügend. Man sieht aus ihr unmittelbar, wie nahe

der Komet der Erde in der Nähe des Perihels P war, und wie rasch diese Entfernung ungefähr vom Oktober an zunahm. Auch hier bewegten sich Erde und Komet, wie es beim Kometen Faye der Fall war, einige Zeit, und zwar vom Juli bis Oktober, mit ziemlich paralleler Richtung in demselben Sinne und mit fast gleicher Geschwindigkeit neben einander fort, und erst im Oktober beginnt eine bedeutende Abweichung in den Richtungen beider.

Der Komet kehrte im Jahre 1850 unter so ungünstigen Sichtbarkeitsverhältnissen zum Perihel zurück, daß an ein Wiederauffinden desselben bei dieser Erscheinung nicht gedacht werden konnte. Infolgedessen war die Aufsuchung des Kometen bei seiner zweiten Wiederkehr in 1855, die unter ähnlichen Verhältnissen wie 1844 eintrat, schon an und für sich schwieriger, und es wurde ihr vielleicht auch nicht die entsprechende Aufmerksamkeit zugewendet: genug, das Gestirn wurde 1855 ebenfalls nicht wiedergesehen, indem ein am 16. Mai dieses Jahres von Goldschmidt in Paris beobachteter Nebel kaum der gesuchte Komet gewesen sein kann. Nicht minder unbemerkt gingen die folgenden 6 Perihelpassagen vorüber: in der Zwischenzeit erschienen wohl mehrere Kometen mit ähnlichen Elementen, unter denen insbesondere der vom 26. September 1886 von Finlay am Kap entdeckte (1886 VII) zu nennen ist; doch stellte es sich, sobald die Beobachtungen einen längeren Bogen umspannten, stets heraus, daß die Identität dieser Gestirne mit dem Kometen von de Vico sich nicht aufrecht erhalten lasse. Erst bei der Entdeckung eines äußerst lichtschwachen Himmelskörpers dieser Art am 21. November 1894 durch E. Swift, einem Sohne des bekannten Kometenjägers L. Swift, ergaben bereits die ersten Bahnbestimmungen eine der Bahnlage des Kometen de Vico so nahe gleiche, daß die Identität beider Gestirne als wahrscheinlich bezeichnet werden mußte. Der weitere Lauf des Kometen verstärkte diese Vermutung so sehr, daß Schulhof schon aus einer Zwischenzeit von nur 8 Tagen die oben bereits angeführte Bahn zu berechnen unternahm, welche die Vermutung allem Anscheine nach zur Gewißheit umwandelte.

Schulhof nahm die Umlaufszeit des neuen Kometen deshalb um 0·35 Jahre größer an als die des de Vico'schen, um dem Umstande Rechnung zu tragen, daß die Rückkehr zum Perihel während der letzten 8 unbeachtet vorübergegangenen Perihelpassagen sich beiläufig um ein Jahr verzögert hat. Dies darf nicht befremden, weil das Gestirn, falls es in der That mit dem Kometen de Vico identisch ist, während der beiden Jahre 1885 und 1886 dem Jupiter nahezu parallel einherlief, und demselben so nahe, daß bedeutende Störungen eingetreten sein müssen. Auch die Änderung in den anderen Elementen erfolgte genau in dem Sinne, den man erwarten muß, und die anscheinend bedeutendste derselben, die in der Länge des aufsteigenden Knotens, hat wegen der geringen Neigung weniger zu bedeuten, als es scheint.

Nur in einer Beziehung weicht der neue Komet von dem de Vico'schen ganz wesentlich ab. Während nämlich der letztere sogar dem freien Auge sichtbar

wurde, gehörte der Swift'sche, bei nicht erheblich ungünstigeren Sichtbarkeitsverhältnissen zu einem der lichtschwächsten teleskopischen Gestirne dieser Art. Diese gewiß beachtenswerte Verschiedenheit sucht Schulhof durch die auffälligen Lichtschwankungen zu erklären, die man bereits vielfach bei diesen Körpern, in besonders hohem Maße aber am Kometen von Holmes (§ 156) bemerkt hat, indem er annimmt, daß die Erscheinung des Jahres 1844 in eine Periode seiner größten Lichtstärke, die jetzige hingegen in eine seiner größten Lichtschwäche fiel. Uns scheint es jedoch wahrscheinlicher, daß der Komet in der Zwischenzeit begonnen habe, sich in einen Meteorstrom aufzulösen, ähnlich wie dies mit dem Biela'schen seit 1846 geschehen ist.

In historischer Beziehung möge noch erwähnt werden, daß Le Verrier und Brunnow den Kometen von de Vico mit dem von de la Hire von 1678 für identisch halten. Es ist daher umsomehr zu bedauern, daß der Swift'sche Komet nur kurze Zeit verfolgt werden konnte, da er schon von seiner Entdeckung an nur in starken Fernrohren sichtbar war und sich ununterbrochen gleichzeitig von Sonne und Erde entfernte. Die interessanten Fragen, die er angeregt, werden deshalb während der jetzigen Erscheinung leider nicht definitiv erledigt werden können, und wann wir ihn wieder werden zu Gesicht bekommen, oder ob dies je noch einmal geschehen wird, läßt sich aus unseren bisherigen Erfahrungen an diesem Himmelskörper schlechterdings nicht beurteilen.

§ 154. (Komet Brorsen.) Das Schicksal, in Verlust zu geraten, drohte auch dem nächsten periodischen Kometen von kurzer Umlaufszeit, den am 26. Februar 1846 Brorsen in Kiel entdeckte: es wurde aber noch glücklich abgewendet. Denn nachdem Brunnow und D'Arrest schon aus siebentägigen Beobachtungen die Ellipticität der Bahn erkannt hatten, hinderte die kurze Sichtbarkeit des Himmelskörpers eine genaue Vorausberechnung der nächsten Erscheinung in 1851 so sehr, daß derselbe in diesem Jahre nicht wiedergefunden wurde, und im Jahre 1857, unabhängig von aller Voraussage, von Bruhns neuerdings entdeckt werden mußte.

Der Komet gleicht einer blassen runden Nebelmasse von granuliertem Aussehen, welche die Eigentümlichkeit besitzt, sich nach dem Periheldurchgang auszudehnen. Wahrscheinlich infolgedessen nimmt die Lichtstärke des Gestirnes bei seiner Entfernung von der Sonne rascher ab, als dies gewöhlich zu geschehen pflegt, was, verbunden mit einer seiner Sichtbarkeit in der Nähe des Perihels ungünstigen Bahnlage, bewirkt, daß er stets nur kurze Zeit verfolgt werden kann.

Der Umstand, warum wir diesen Kometen, trotz seiner kurzen Umlaufszeit von kaum 5·5 Jahren vor 1846 nicht gesehen haben, findet nach den höchst interessanten Untersuchungen von D'Arrest darin seine Erklärung, daß dessen Bahn erst Mitte Mai 1842, wo er Jupiter sehr nahe kam, so modificiert wurde, wie es zu seiner Wahrnehmbarkeit auf der Erde nötig war. Aus der gleichen Ursache wird er kurz vor der Mitte des kommenden Jahrhunderts für uns wieder

verschwinden, falls dies nicht aus anderen Gründen früher erfolgt, oder bereits erfolgt ist. Denn nachdem das Gestirn bei seinen Periheldurchgängen in den Jahren 1868, 1873 und 1879 wieder beobachtet worden war, konnte es weder 1884 noch auch 1890 wiedergefunden werden, obwohl namentlich in der letztgenannten relativ günstigen Erscheinung sehr energisch und systematisch nach ihm gesucht wurde. Aus diesem Grunde ist die Bemerkung, welche Hind bei der Berechnung der Elemente des von Denning am 26. März 1894 entdeckten periodischen Kometen 1894 I machte, von besonderem Interesse. Sie besteht darin, daß die Bahn dieses Kometen die des Brorsen'schen durchschneidet, und daß beide Gestirne im April 1881 die Bahnnähe nahe gleichzeitig passierten. Eine sehr eingehende Untersuchung von E. Lamp führte zu demselben Resultate, nur mit dem Unterschiede, daß durch die Berücksichtigung der erheblichen Störungen, welche der Denning'sche Komet vom Anfange des Jahres 1891 durch eine sehr wirksame Annäherung an Jupiter erlitten hat, der Zeitpunkt der Begegnung auf Mitte Januar 1891 verlegt wird. Die kürzeste Entfernung der beiden Bahnen beträgt nach Lamp bloß 0·0086 Erdbahnhalbmesser oder nur 99 Erddurchmesser, und beide Gestirne passierten diese Stelle nur 6·4 Tage nach einander. Da indes die Elemente des Denning'schen Kometen, namentlich seine Umlaufszeit aus seiner ersten Erscheinung in 1894 sich nur mit einer mäßigen Genauigkeit bestimmen ließen, kann die Bahn desselben vor seiner großen Jupiterstörung ebenfalls nur als eine genäherte angesehen werden; es wird daher erst seine am Ende des Jahres 1900 erwartete Wiederkehr volle Gewißheit bringen, ob beide Himmelskörper in der zweiten Hälfte Januars 1881 sich thatsächlich so nahe an demselben Punkte des Weltraumes befunden haben, daß durch eine Kollision derselben der Brorsen'sche zerstreut worden sein kann.

§ 155. (Die Kometen 1770 I und 1889 V.) Am 14. Juni 1770 entdeckte Messier einen teleskopischen Kometen, der gegen Ende des Monates auf kurze Zeit auch dem freien Auge sichtbar wurde, und bis zum 2. Oktober verfolgt werden konnte. Ein besonderes Interesse gewann dieser Himmelskörper bald darauf zunächst dadurch, daß sich herausstellte, er sei am 1. Juli näher an der Erde vorübergezogen, als irgend ein anderer bisher berechneter Komet, indem seine Entfernung an jenem Tage bloß 0·015 Einheiten der Erdbahnhalbachse oder 363 Erdhalbmesser, d. h. nur die 6fache Distanz des Mondes betrug. Bei dieser Annäherung hätte er, wenn seine Masse jener der Erde gleich gewesen wäre, die Länge unseres Jahres um volle $2^h\ 53^m$ ändern müssen; es ist jedoch seit jener Epoche gewiß nicht einmal um 1^s, d. i. um den 10 000sten Teil jener Zeit gestört worden, weshalb auch die Masse des Kometen noch nicht den 10 000sten Teil der Erdmasse betragen haben kann.

Als die Beobachtungen längere Zeit fortgesetzt worden waren, scheiterten alle Bemühungen der verschiedensten Astronomen, den Lauf des Kometen durch eine Parabel darzustellen, was umsomehr befremdete, als man damals außer dem

Halley'schen noch keinen anderen periodischen Kometen, am wenigsten einen von kurzer Umlaufszeit kannte. Da man überdies damals auch noch keine Methode der Bahnbestimmung eines Himmelskörpers ohne Kenntnis von seiner Excentricität oder Umlaufszeit besaß (§§ 66, 139) erkannte Lexell erst nach vielen vergeblichen Versuchen, daß der Komet in einer Ellipse von 5·5 Jahren Umlaufszeit einhergehe, weshalb er in der Regel der Lexell'sche genannt wird. Bei diesem für jene Zeit schon an und für sich paradox scheinenden Resultate fiel aber noch sehr auf, daß das Gestirn, seiner kurzen Umlaufszeit ungeachtet, noch nie gesehen worden war, bis man nach vielen umständlichen Rechnungen fand, daß es 1767 nahe an Jupiter vorbeigegangen sei, und daß dabei dieser mächtige Planet seine ursprüngliche, wahrscheinlich sehr ausgedehnte Bahn in eine Ellipse von so kurzer Umlaufszeit umgestaltet habe. Daß aber der Komet auch nach 1770 nicht wiedergefunden wurde klärte Laplace auf. In der Lexell'schen Bahn würden wir ihn nämlich im März 1776 vermutlich wieder gesehen haben, wenn er nicht um die Zeit seines Periheldurchganges stets nur während des Tages über unserem Horizonte gestanden, und uns deshalb unsichtbar gewesen wäre. Bei seiner Entfernung von der Sonne begegnete er aber 1779 abermals Jupiter, wodurch sein Lauf neuerdings eine gewaltige Störung erlitt.

Die genauesten Untersuchungen über die Bahn dieses Himmelskörpers und die Umgestaltungen, die sie vor und nach 1770 bei dessen großen Annäherungen an Jupiter erfuhr, rühren von Le Verrier her. Aus denselben geht hervor, daß der Komet im Jahre 1779 dem Planeten wahrscheinlich so nahe kam, daß er zwischen dessen Satelliten hindurchging; die Bahn, in welche er dabei gezwängt wurde, läßt sich aber wegen der großen, den damaligen Beobachtungen noch anhaftenden Unsicherheit nicht näher angeben: nur so viel steht fest, daß dabei seine Periheldistanz wesentlich vergrößert und damit die Hoffnung so gut wie ganz aussichtslos wurde, ihn in seiner neuen Bahn je wieder zu Gesicht zu bekommen. Es wurde in der That durch mehr als ein Jahrhundert kein Komet aufgefunden, der mit dem Lexell'schen hätte identificiert werden können, bis Brooks in Geneva (N. A.) am 6. Juli 1889 einen schwachen, unscheinbaren Kometen entdenkte, der sich jedoch bald als einer der interessantesten entpuppte, die je gesehen wurden.

Bereits die ersten Bahnbestimmungen ließen erkennen, daß er zu der Gruppe der periodischen Kometen mit kurzer Umlaufszeit gehöre. Noch mehr Interesse erregte es aber, als Chandler darauf hinwies, daß im Mai 1886 das Gestirn gerade in jener Himmelsgegend, in welcher der Lexell'sche Komet 1779 seine zweite große Störung erlitten hatte, ungemein nahe an Jupiter vorübergegangen war, daß daher die Identität beider Himmelskörper nicht nur möglich, sondern sogar wahrscheinlich sei. Dies veranlaßte C. L. Poor zu einer genaueren Untersuchung der Sachlage, indem er unter strenger Berücksichtigung der Störungen den Lauf des Kometen bis vor den Eintritt der Jupiternähe zurückverfolgte.

Das überraschendste Resultat dieser mühevollen Arbeit besteht in dem Nachweise, daß der Komet in der That erst im Jahre 1886 in seine jetzige Bahn durch Jupiter geworfen wurde. Er kam demselben am 20. Juli 1886 so nahe, daß er dessen Oberfläche fast streifte, indem er zwischen dieser und dem Barnard'schen Jupitermonde hindurchging, und 2·6 Tage innerhalb des Satellitensystemes sich bewegte. Während dieser Zeit umkreiste er den Planeten beinahe ganz, indem er einen Bogen von 313° um denselben beschrieb. Für die Umlaufszeit des Kometen vor 1884, wo Jupiter einen erheblichen Einfluß auf die Form seiner Bahn auszuüben begann, fand Poor eine Periode von 31·4 Jahren, mit einer Periheldistanz von 5·46 Erdbahnhalbmessern, die ihn für uns unsichtbar machte.

Die Umlaufszeit von 31·4 Jahren spricht zwar nicht für die Identität mit dem Lexell'schen Kometen, da sie kein vielfaches der Zwischenzeit zwischen 1779 und 1884, d. i. von 105 Jahren ist: die Tragweite dieses Umstandes ist indes keineswegs so bedeutend, als es anfänglich scheint, da bereits sehr geringe Änderungen der Elemente des Brook'schen Kometen seine Annäherung an Jupiter, und damit auch die Störungen, denen er ausgesetzt war, sehr bedeutend modificieren. Es wird daher die Frage über seine Identität mit dem Lexell'schen Kometen sich erst nach seiner Rückkehr zur Sonne, die 1896 bevorsteht, mit Sicherheit entscheiden lassen.

Aber nicht bloß in Bezug auf seine Geschichte, sondern auch in Bezug auf die Erscheinungen, die er zeigte, ist dieser Komet hochinteressant.

Bei seiner Entdeckung glich er in jeder Beziehung einem mäßig hellen teleskopischen Kometen: er erschien nämlich als eine blasse, ziemlich helle, rundliche, gegen das Centrum hin zu einem verwaschenen sternartigen Kerne verdichtete Nebelmasse, mit Spuren eines Schweifes. Der letztere vergrößerte und verstärkte sich in den nächsten 3 Wochen ungewöhnlich rasch; auch wurden während dieser Zeit wiederholt starke Helligkeitsschwankungen am Kometen wahrgenommen, welche übrigens, seitdem man durch einen sehr auffallenden Lichtsausbruch, der im September 1883 am Pons'schen Kometen von 72 Jahren Umlaufszeit bei seiner Rückkehr zum Perihel beobachtet wurde, diesem Phänomen mehr Aufmerksamkeit schenkt als früher, so oft bemerkt werden, daß sie nicht mehr zu außergewöhnlichen Erscheinungen gerechnet werden können. Nicht wenig überraschte aber die Nachricht, daß Barnard in den Morgenstunden des 2. August zwei, und in denen des 5. noch zwei weitere, aber schwächere und entferntere Begleiter des Kometen aufgefunden habe. Außerdem bemerkte Barnard am Morgen des 3. August noch mehrere andere blasse Nebelmassen, aber in beträchtlicherer Entfernung vom Hauptkometen, die indes bloß Gebilde von ganz ephemerer Dauer gewesen zu sein scheinen, da er sie bereits am folgenden Tage nicht mehr wahrnehmen konnte.

Zur Zeit der Entdeckung der Begleiter hatte der Hauptkomet einen fächer-

förmigen 15′ langen Schweif, und einen kleinen Kern 12. Größe in einem schmalen Kopfe 11. Größe. Der ihm nächste der beiden helleren Begleiter glich einem Miniaturbilde des Hauptkometen: er besaß einen ungemein kleinen sternartigen Kern mit einem ungemein schwachen Schweife. Nachdem dieser Begleiter eine Zeit lang keine Veränderungen gezeigt hatte, begann er in den letzten Tagen des August sich zu verbreitern und zu verschwimmen, während er gleichzeitig seine centrale Verdichtung verlor, so daß er am 5. September, dem Tage, wo er das letzte Mal gesehen wurde, nur mehr einem großen ungemein blassen und verschwommenen Nebel glich. Da in dieser Zeit der Komet sich der Sonne und Erde noch näherte, die Begleiter also an Helligkeit hätten zunehmen, statt abnehmen sollen, läßt sich wohl nicht bezweifeln, daß er sich im Raume zerstreut und zu existieren aufgehört hat.

Der entferntere der helleren Begleiter war anfänglich zwar größer, aber verschwommener und blasser als der nähere: doch zeigte auch er einen kleinen Kern und Schweif. Er nahm aber allmählich an Helligkeit zu, wurde schärfer an Gestalt und entwickelte eine starke kernartige Verdichtung, so daß er am 31. August faktisch heller geworden war, als der Hauptkomet, der um diese Zeit einige Tage lang an Helligkeit abzunehmen schien. Bis Mitte September blieben beide, der Hauptkomet und der Begleiter, nahe gleich hell; dann begann der Begleiter langsam, vom 27. September ab aber rasch an zu verblassen und wurde dabei verschwommen und breiter, bis er am 25. November verschwand. Es scheint daher auch dieser Begleiter denselben Prozeß des Zerfallens wie der andere durchgemacht und aufgehört zu haben, als Individuum zu existieren.

Von den beiden am 5. August aufgefundenen Begleitern wurde der eine nur auf der Licksternwarte vom 5. bis 30. August gesehen, der andere auf dieser am 5. und 29. August, und in Wien am 5. August und 23. Oktober.

Die Beobachtungen des entfernteren der helleren Begleiter hat Bredechin zu einer Bahnbestimmung desselben verwertet, aus welcher hervorgeht, daß die Teilung des Kometen in der Richtung seiner Bahnebene vor sich gegangen ist und in der Nähe seines Aphels stattgefunden habe. Nimmt man nun an, daß die Trennung der anderen Stücke ebenfalls in der Bahnebene erfolgt sei, so ergiebt sich aus den beiden Wiener Beobachtungen des letztgenannten der schwächeren Nebel, daß auch seine Bahn die des Hauptkometen in der Nähe des Aphels schneidet. An dieser Stelle trafen sich aber im Jahre 1886 Jupiter und der Komet: es ist daher sehr wahrscheinlich, daß die Loslösung der Begleiter in jene Zeit fällt. Sie kann durch die ungleiche Anziehung des Planeten auf die verschiedenen Teile des Kometen verursacht worden sein, oder aber durch Collisionen desselben mit den Satelliten Jupiters, wie deren wohl zweifelsohne während der $2^1/_2$ Tage stattgefunden haben müssen, die er zwischen ihnen verweilte.

Allein auch damit ist das Interesse an diesem Kometen noch nicht erschöpft. Nachdem er in Wien bis zum 19. und auf der Licksternwarte bis zum 20. März 1890

verfolgt worden war, wurde er nach seiner Conjunktion mit der Sonne am 21. November 1890 von Barnard als ein mit dem großen Refraktor der Licksternwarte an der Grenze der Sichtbarkeit stehendes Objekt wieder aufgefunden, und noch bis zum 13. Januar 1891 beobachtet. Es ist dies das erste Beispiel, daß ein periodischer Komet in einer von seiner Perihelpassage so weit abstehenden Opposition beobachtet wurde, und auch die Sichtbarkeitsdauer von 556 Tagen dieses nicht einmal zu den hellsten seiner Klasse gehörenden Kometen übertrifft die des großen von 1811, welche bloß 511 Tage umfaßte, um 45 Tage. Die Jahre 1890 bis 1892 werden überhaupt in der Kometenastronomie für immer insofern denkwürdig bleiben, als es in ihnen gelang, 4 verhältnismäßig schwache Kometen nicht nur während eines vorher nie erreichten Zeitraumes zu beobachten, sondern auch bis auf Entfernungen zu verfolgen, die früher für die optische Kraft der Fernrohre überhaupt nicht, oder höchstens in ganz vereinzelten Fällen als erreichbar galten. Denn noch länger als der eben genannte, konnte der am 2. September 1888 von Barnard, und einen Tag später von Brooks entdeckte teleskopische Komet 1889 I verfolgt werden, indem seine Beobachtungen bis zum 7. September 1890 reichen; er war also durch 735 Tage sichtbar, die längste bei einem Kometen bisher überhaupt erreichte Sichtbarkeitsdauer. Dementsprechend waren auch seine Entfernungen von Erde und Sonne mit resp. 6·37 und 6·34 Einheiten der Erdbahnhalbachse, die weitaus größten, bis zu denen bisher je ein Komet gesehen wurde. Außerdem konnten in dieser Zeit noch die Kometen 1889 II und 1890 II, der erstere vom 31. März 1889 bis 24. August 1890, der letztere vom 19. März 1890 bis 4. Februar 1892, also dieser durch 687, jener durch 511 Tage beobachtet werden.

§ 156. (Komet Holmes.) In mehrfacher Beziehung zu einem der merkwürdigsten Kometen der letzten Jahre muß unstreitig jener gezählt werden, der am 6. November 1892 von Holmes in London aufgefunden wurde. Schon die ersten auf genauere Beobachtungen gegründeten Bahnberechnungen führten zu dem auffallenden Resultate, daß er in den ungewöhnlich großen Entfernungen von etwa 2.6 Einheiten der Erdbahnhalbachse von der Sonne, und nahezu 2 von der Erde aufgefunden worden sei, zu einer Zeit, wo er das Perihel bereits mehrere Monate passiert hatte, und sich auch rasch von der Erde entfernte. Die Zurückrechnung mit den Elementen ergab aber weiter das noch auffallendere, unter diesen Umständen jedoch nicht unerwartete Resultat, daß der Komet bereits seit Ende Mai in beträchtlicher Helligkeit und nicht ungünstiger Stellung auf der nördlichen Halbkugel sichtbar gewesen war, daß er schon Mitte August dieselbe Lichtstärke hatte, wie bei der Entdeckung, und in der letzten Hälfte Septembers sogar eine erheblich größere. Dies befremdete deshalb, weil der Komet zur Zeit seiner Entdeckung eine größere Helligkeit besaß, als der Andromedanebel, in dessen Nähe er stand, also unschwer mit freiem Auge sichtbar war. Er wurde auch am 7. und 8. November von mehreren Personen in England und Schottland mit

freiem Auge bemerkt, und war vielleicht schon am 3. November von W. A. Post in Newport gesehen, aber für einen bekannten Nebel gehalten worden. Es mußte deshalb sehr Wunder nehmen, wieso er sich vorher monatelang allen Nachforschungen hatte entziehen können. Das Befremden wuchs aber noch mehr, als bereits in der letzten Hälfte Novembers fast gleichzeitig Kreutz, Schulhof und Searle erkannten, der Komet sei ein periodischer von knapp 7 Jahren Umlaufszeit; es trat daher jetzt noch die Frage dazu, warum dieser helle Komet bei seinen so häufigen Rückkehren zur Sonne noch nie gesehen worden war, von denen einige der letzteren unter günstigeren Sichtbarkeitverhältnissen eingetreten sein mußten, als die jetzige. Da nun der Komet bei seiner Entdeckung gerade in einer dichten Region des Asteroidenringes sich aufhielt, wurde von mehreren Seiten die Ansicht ausgesprochen, er könne das Produkt der Kollision zweier Asteroiden sein, eine Ansicht, die besonders S. J. Corrigan weiter ausführte. Kurze Zeit darauf gab aber der Komet selbst die Mittel zu einer einfacheren Erklärung der oben hervorgehobenen Schwierigkeiten an die Hand.

Bei seiner Entdeckung erschien er als eine helle, runde, gegen die Mitte hin stark verdichtete Nebelmasse von 5′ Durchmesser, mit Spuren eines Schweifes, fing aber schon in den folgenden Tagen an, sich nach allen Seiten hin bedeutend auszudehnen. Dabei verblaßte er namentlich in seinen centralen Teilen sehr rasch, so daß er schon vor Ende November nur mehr einer nahezu gleichmäßig beleuchteten, matten, verschwommenen Nebelscheibe von mindestens 30′ Durchmesser glich. In diesem Stadium zeigte er die bekannte Erscheinung, daß die Sichtbarkeit blasser, ausgedehnter Nebel mit der Größe der Fernrohre keineswegs in entsprechendem Maße zunehme, so auffallend, wie der Herausgeber sich nicht erinnert, es je früher bemerkt zu haben; denn er erschien auf der Wiener Sternwarte nicht nur in den Fernrohren von den verschiedensten Größen scheinbar in nahe gleicher Helligkeit, sondern war bereits im großen Refraktor von 68 cm Öffnung zu einem ziemlich unscheinbaren Objekte herabgesunken, als ihn Palisa noch mit freiem Auge, freilich an der äußersten Grenze der Sichtbarkeit wahrnehmen konnte.

Mitte Jänner hätte der Komet theoretisch noch die Hälfte der Entdeckungshelligkeit besitzen sollen, war aber selbst in starken Fernrohren nur mehr schwer zu beobachten, als er unvermutet von Neuem aufleuchtete, und dabei sein Aussehen vollständig änderte. In den Abendstunden des 16. Jänners erstaunte man nämlich nicht wenig, als man den Kometen nicht mehr wie in früheren Nächten als einen blassen Nebel, sondern als ein fixsternartiges Objekt mit einer sehr geringen Dunsthülle von kaum 30″ Durchmesser erblickte, aber von so großer Helligkeit, daß einige Beobachter ihn sogar mit unbewaffnetem Auge erkennen konnten. In den folgenden Tagen wiederholten sich die Erscheinungen, die er im November gezeigt hatte: der Kern umgab sich unter rascher Lichtabnahme wieder mit einer Nebelhülle, die schon am 23. Jänner neuerdings einen Durch-

messer von 2′ erlangt hatte, und sich bis zum 10. Februar fortwährend vergrößerte, wo das Gestirn abermals in einen verwaschenen, fast kernlosen Nebel übergegangen war, der trotz immer abnehmender Helligkeit doch bis Mitte März beobachtet werden konnte, und von Kobold in Straßburg noch am 6. April gesehen wurde, aber zu lichtschwach, um eine Ortsbestimmung zu gestatten.

Dieses Verhalten des Kometen macht es sehr wahrscheinlich, daß eine ähnliche Lichtzunahme wie am 16. Jänner 1893 auch kurz vor dem 6. November erfolgte, und erst dadurch das früher ganz unscheinbare Gestirn zu einem hellen wurde. Damit stimmt auch die Angabe von Holmes, daß er am 25. Oktober dieselbe Gegend in der Andromeda durchsucht, aber nichts kometenartiges in ihr bemerkt habe.

Plötzliche Helligkeitsschwankungen, zum Teil verbunden mit zeitweiligen Änderungen ihres Aussehens, hat man, wie bereits erwähnt wurde, während des letzten Decenniums, wohl mehrfach an Kometen wahrgenommen: eine nach jeder Richtung so intensive und durchgreifende Lichtentwickelung wie bei diesem Kometen, wurde aber bisher noch nie beobachtet. Was sie indeß noch bedeutsamer macht, ist der Umstand, daß sie erst in einer Entfernung von der Sonne eintrat, in der man noch nie stürmische Bewegungen in diesen Himmelskörpern vor sich gehen sah. Auch die Ausdehnung der Coma bei der Entfernung des Kometen von der Sonne steht nicht ganz vereinzelt da; sie fand beispielsweise ebenfalls bei jeder bisher beobachteten Erscheinung des Brorsen'schen Kometen (§ 154) statt, hat aber hier das Eigentümliche, daß sie wiederholt auftrat.

Besonders bemerkenswert war auch das Spektrum des Kometen, das sich von allen bislang beobachteten vollständig unterschied, indem es sowohl am Anfange seiner Sichtbarkeit, als auch bei der Lichtentwickelung im Januar, als ein rein kontinuierliches sich darstellte.

Nicht minder beachtenswert sind auch die Bahnverhältnisse dieses Kometen. Sein Perihel liegt jenseits der Marsbahn, und sein Aphel diesseits jener Jupiters; er bewegt sich daher beständig innerhalb der Zone der kleinen Planeten. Auch seine verhältnismäßig sehr kleine Excentricität hebt den Unterschied, den man bisher in dieser Beziehung zwischen Kometen und Planeten annehmen zu können glaubte, nahezu auf, da mehreren Asteroiden fast gleich große Excentricitätswerte zukommen. Seine nächste Rückkehr zur Sonne steht in der ersten Hälfte des Jahres 1899 unter ähnlichen Verhältnissen wie 1892 bevor.

§ 157. (Die großen Kometen von 1843, 1880 und 1882. I. Komet von 1843.) Was sich über die anderen periodischen Kometen noch sagen ließe, ergiebt sich aus jedem Kometenverzeichnisse von selbst; wir ziehen es daher vor, statt derselben hier einige in anderer Beziehung interessante Gestirne dieser Art zu besprechen, die in unseren Tagen sich zeigten, und an sich sowie durch Anwendung der heutigen optischen Mittel uns mit einer Menge höchst auffallender Erscheinungen bekannt machten. Zunächst wollen wir einen der merkwürdigsten Kometen, die je erschienen sind,

näher ins Auge fassen, nämlich den großen Kometen vom März 1843, an den sich wohl noch manche Leser erinnern werden.

Um die Mitte des März 1843 zeigte sich in den Abendstunden am westlichen Himmel ein weißer, scharf leuchtender Streifen im Sternbilde des Eridanus, der sich vom Horizonte an fast genau in der Richtung des Äquators aufwärts erstreckte, in einer Länge von mehr als 45°. Schon der Anblick mit unbewaffnetem Auge ließ kaum einen Zweifel übrig, daß die Erscheinung für den Schweif eines großen Kometen zu halten sei, und diese Ansicht ward vollkommen bestätigt, indem man mit Hilfe eines Fernrohres am untern Ende des Schweifes ganz in der Nähe des Horizonts den Kern fand, der sich als ein ziemlich runder, sternähnlicher, aber mit einer Nebelhülle umgebener Fleck darstellte. Sehr bald erhielt man auch nähere Nachrichten darüber von südlich gelegenen Orten, aus denen hervorging, daß die Helligkeit des Kometen früher bedeutend größer, ja am 28. Februar so außerordentlich gewesen war, daß er an vielen Orten Italiens am hellen Tage nicht weit von der Sonne mit freiem Auge gesehen wurde; noch später erfuhr man, daß dasselbe auch in Amerika der Fall gewesen war, wo unter anderem Clarke in Portland gleichfalls am 28. Februar die Kulmination des Kometen nur wenige Minuten nach der Kulmination der Sonne beobachtete, und Bowring in Mexiko seine scheinbare Distanz von der Sonne zu etwa 4° maß. Bei dieser Gelegenheit sei es als Kuriosum erwähnt, daß, während man die Kometen fast überall auf der Erde als Vorboten von Unglücksfällen mit Furcht und Schrecken betrachtet, man sie in Mexiko als Glück verkündende Gestirne mit Freuden begrüßte, die namentlich nach dem Auffinden reicher Gold- oder Silberminen erscheinen. So wurde beispielsweise der Komet von 1811 in Verbindung gebracht mit dem Auffinden der Mine Refugio; der von 1819 mit dem der gediegenen Silberader Morelas, der Halley'sche von 1835 mit dem Auffinden der damals mitten in einer Wüste liegenden Minen Guadelupe y Calvo u. s. w.

Nach dem 28. Februar wurde durch mehrere Tage von unserem Kometen nichts gesehen, bis zum 3. März, wo er sich für die südliche Halbkugel schon so weit von der Sonne entfernt hatte, daß er für kurze Zeit am Abendhimmel sichtbar wurde. In Mitteleuropa tauchte er, wie bereits erwähnt wurde, erst Mitte März auf, in Südeuropa hingegen schon am 8., wo in Lissabon die Helligkeit seines Kernes noch der von Jupiter gleichgehalten wurde.

Die Dimensionen des Schweifes wurden von verschiedenen Beobachtern gemessen, und wiewohl derlei Messungen wegen der Unbestimmtheit der Begrenzung und der außerordentlichen Abhängigkeit von der Reinheit des Himmels nur als Schätzungen angesehen werden können, so ergiebt sich aus ihnen doch, daß der Schweif in der ersten Zeit der Sichtbarkeit des Gestirnes eine ganz ungewöhnliche Ausdehnung besaß. Die Länge desselben betrug nämlich in den ersten Tagen des März 68° bis 70°, und nahm bis zum 21. nur sehr langsam, dann

aber so rasch ab, daß sie in den letzten Tagen des Monats bereits auf die Hälfte herabgesunken war. Die wirkliche Länge des Schweifes zur Zeit seiner größten Entwickelung ergiebt sich daraus nur wenig kleiner als der Durchmesser der Erdbahn, nämlich zwischen 250 und 300 Millionen km. Dabei war der Schweif in der Nähe des Kernes sehr schmal, und nahm wohl gegen das andere Ende hin an Breite immer mehr zu, aber so langsam, daß er selbst an der breitesten Stelle 3° kaum je erreichte. Das Ende selbst lief in eine Spitze aus, deren Umriß jedoch sehr unbestimmt zu sehen war, und sich im dunkeln Himmelsgrunde verlor. Wie bei den meisten früher erschienenen Kometen von besonderer Größe waren auch hier die Seiten des Schweifes heller als die Mitte, sodaß das Ganze das Ansehen eines hohlen Lichtkegels darbot, an dessen Scheitel der Kern stand. Sehr entschieden trat auch eine Krümmung des Schweifes hervor, und zwar war der vom Kerne abgewendete Teil nach Süden gekrümmt.

Das merkwürdigste und auffallendste am Kometen war aber die Unscheinbarkeit des Kernes im Verhältnis zur ungewöhnlichen Größe des Schweifes, sodaß es schien, als habe der Kern den größten Teil seiner eigenen Materie zur Bildung des Lichtschweifes verwendet. Eine Folge dieses Umstandes war es auch, daß der Komet bei seiner Entfernung von Erde und Sonne für das freie Auge nicht allmählich an Größe abnahm, sondern bloß im ganzen verblaßte, und dadurch sehr rasch unsichtbar wurde. So schätzte J. F. Schmidt die Länge des Schweifes noch am 30. März zu 38°, und schon am 2. April war von der ganzen Erscheinung nichts mehr zu sehen, wozu allerdings auch der zunehmende Mond das Seinige beitrug. Eine weitere Eigentümlichkeit unseres Kometen war noch die ungewöhnlich schnelle Lichtabnahme desselben, die so rapid vor sich ging, daß schon 14 Tage, nachdem er dem freien Auge entschwunden war, dessen weitere Verfolgung selbst mit den kräftigsten Instrumenten der damaligen Zeit aufgegeben werden mußte.

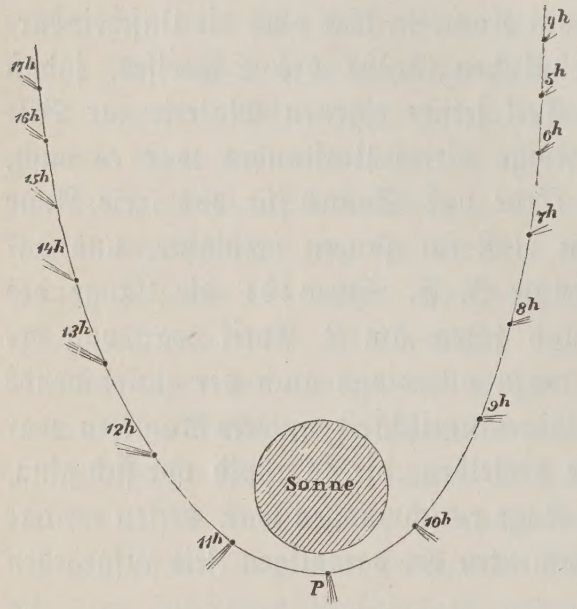
Schon wenige Tage nach seinem ersten Erscheinen ergab die genäherte Bestimmung seiner Bahn eine außerordentlich kleine Distanz von der Sonne zur Zeit seines Durchganges durch das Perihel, welche Distanz nach einigen Berechnern nur 0·01, nach andern gar weniger als 0·005 der mittleren Distanz der Erde von der Sonne betragen sollte, sodaß der Komet im Augenblicke seines Perihels ganz nahe an der Oberfläche der Sonne vorbeigestreift sein mußte. Der Halbmesser der Sonne ist nämlich 693 300 km; die mittlere Distanz der Erde von der Sonne beträgt 148 600 000 km, daher 0·01 dieser Distanz gleich 1 486 000 km, und 0·005 derselben gleich 743 000 km wird; bei einer Periheldistanz von 0·01 wäre also der Komet etwa doppelt so weit von der Oberfläche der Sonne gewesen, als der Mond von der Erde; dagegen hätte er bei 0·005 Periheldistanz nur ungefähr um den vierfachen Durchmesser der Erde von der Sonne abgestanden. Auch alle späteren Berechnungen ergaben eine sehr kleine Periheldistanz, sodaß z. B. nach Hubbard's Bahn

(s. unten) der Komet im Perihel nur um 10 Durchmesser der Erde von der Oberfläche der Sonne entfernt war.

Um die außergewöhnliche Kleinheit der Periheldistanz zu versinnlichen, haben wir in Fig. 86 die Sonne und den ihr zunächst liegenden Teil der Bahn des Kometen in dem der Natur entsprechenden Verhältnisse dargestellt. Der Punkt P ist das Perihel, und der Maßstab so gewählt, daß 100 000 km in der Figur gleich 1 mm sind. Die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne würde bei diesem Maßstabe eine Länge von 1·5 m erhalten.

Außer der kleinen Periheldistanz ist noch die schnelle Winkelbewegung des Kometen um die Sonne am 27. Februar besonders erwähnenswert. Die Fig. 86 zeigt dies sehr deutlich, indem die Position des Kometen für mehrere Momente darauf eingetragen ist. Er war nämlich nach Nikolai's Elementen an diesem Tage um $10^h\,29^m$ mittlere Pariser Zeit im Perihel P, um 11^h, 12^h, 13^h u. s. w. aber in den mit denselben Stunden bezeichneten Punkten der Figur. Man sieht also, daß an diesem einzigen Tage die heliocentrische Winkelbewegung über $^3/_4$ des Umkreises betrug. Nicht minder merkwürdig ist die schnelle Abnahme dieser Bewegung; vom 28. Februar bis 10. März, also in 10 Tagen, betrug sie nur noch 20° 58′, vom 10.—20. März 2° 24′, vom 20.—30. März 1° 11′ u. s. f. Wir kommen später noch einmal auf diese merkwürdigen Verhältnisse zurück.

Fig. 86.



Von den überaus zahlreichen Bahnbestimmungen dieses Kometen wollen wir zunächst die Elemente von Nikolai herausgreifen, um an der Hand derselben auf die hochinteressanten Untersuchungen über die Identität dieses Kometen mit früher erschienenen eingehen zu können, und der bequemeren Vergleichung wegen, neben diese Elemente gleich noch mehrere andere stellen. Die Perihelzeit T fällt durchaus auf den 27. Februar und bezieht sich auf den Meridian von Paris; Länge des Perihels, des aufsteigenden Knotens und Neigung sind der Reihe nach mit π, Ω und i bezeichnet, q, e und u stellen Periheldistanz, Excentricität und Umlaufszeit, letztere in Jahren ausgedrückt, vor, wobei noch erwähnt werden möge, daß bei der Parabel e = 1 ist.

	I	II	III	IV	V
T	27·4366	27·4069	27·3461	27·1555	27·4170
π	84° 39·3′	81° 44·8′	77° 26·6′	62° 39·7′	83° 49·6′
Ω	1 37·9	0 6·5	357 52·1	350 8·9	1 14·9

	I	II	III	IV	V
i	144° 23·5′	144° 7·3′	143° 39·5′	141° 29·4′	144° 19·4′
q	0·005584	0·005710	0·006017	0·007077	0·005538
e	1·0	0·999817	0·999440	0·997938	0·999916
u	—	175	35	7	533
Ber.	Nikolai	Nikolai	Laugier u. Mauvais	Clausen	Hubbard

Von der als Parabel berechneten, unter I angeführten Bahn von Nikolai ausgehend, wollen wir hier an einem instruktiven Beispiele zeigen, wie man bei der Untersuchung vorgeht, ob ein Komet ein neuer, vorher noch nie beobachteter, oder ob er in früheren Zeiten schon einmal, vielleicht gar mehrmals sichtbar gewesen sei.

In der äußeren Erscheinung, nämlich in der ungeheuren Länge des Schweifes und der unverhältnismäßigen Schwäche des Kernes zeigte unser Komet von 1843 eine unverkennbare Ähnlichkeit mit dem Kometen von 1668, indem Cassini, welcher das letztgenannte Gestirn in Paris beobachtete, durchaus keinen Kern an demselben bemerken konnte. Er hat indes für drei Tage, nämlich 10., 14. und 19. März 1668 die Lage des Schweifes auf eine Sternkarte eingezeichnet, die sich in den Memoiren der Pariser Akademie für 1702 vorfindet. Rechnet man nun mit den Elementen des Kometen von 1843 zurück auf 1668, unter der Annahme, daß in jenem Jahre der Periheldurchgang am 29. Februar um 7 Uhr morgens mittlerer Par. Zeit stattgefunden habe, und trägt man die so erhaltenen Positionen in die Sternkarte ein, so passen dieselben genau zur gezeichneten Lage des Schweifes. Auch findet sich im „Giornale de' Letterati“*) eine Beobachtung desselben Kometen von 1668, von Pater V. Estancel in St. Salvador gemacht, welche durch die Elemente des Kometen von 1843 ganz erträglich dargestellt werden kann. In einem anderen Artikel desselben Journals: De figuris Cometarum, qui anno 1664, 1665, 1668 apparuerunt, von A. J. Gottignies, sind die durch diesen Jesuiten zu Goa vom 9. bis 21. März 1668 beobachteten Positionen aufgezeichnet; auch hier ergab sich mit Hilfe der neuen Elemente eine recht gute Übereinstimmung der beobachteten und berechneten Orte, so daß eine Identität beider Kometen nicht nur möglich, sondern sogar wahrscheinlich wird. Die Umlaufszeit wäre dann 175 Jahre. Man findet auch wirklich in Pingré's Kometographie Kometen angezeigt in den Jahren 1493, 1317, 1143, 968, 442, 268, die alle in Intervallen von beiläufig 175 Jahren auseinander liegen, bis auf die Jahre 968 und 442, zwischen denen drei Umläufe des Kometen unbeachtet vorübergegangen wären. Da aber über die eben angeführten Er-

*) Auf diese Quelle wurde man durch eine alte Karte aufmerksam, die Henderson in Edinburgh besaß, ohne zu wissen, zu welchem Werke dieselbe ehedem gehört habe. Sie enthielt den Lauf unseres Kometen und war eine Beilage des Aufsatzes von Gottignies, was man nach langem Suchen gleichzeitig auf den Sternwarten in Wien und Rom fand.

scheinungen von Kometen keine näheren Details vorliegen, so läßt sich mit Sicherheit nicht darüber entscheiden, ob sie denn auch wirklich einem und demselben Kometen angehören; indes versuchte Nikolai doch auf Grund dieser Thatsachen, ob sich unter der Hypothese, daß die Umlaufszeit 175 Jahre betrage, ein System von elliptischen Elementen finden lasse, welches den Beobachtungen entspräche, und den Lauf des Kometen am Himmel befriedigend darzustellen vermöchte. Er fand, daß dies allerdings möglich sei, und daß die oben als II angeführte elliptische Bahn dies leiste.

Boguslawski glaubte dagegen aus seinen Rechnungen folgern zu müssen, daß die letzte Erscheinung des Kometen vom Jahre 1843 im Jahre 1695 stattfand. Nimmt man nämlich den 24. Oktober 1695 als den Tag an, wo ein von Pingré für dieses Jahr aufgeführter Komet im Perihel war, so werden alle dortigen Angaben des scheinbaren Laufes so genau durch die parabolischen Elemente des Kometen von 1843 dargestellt, als man nur irgend erwarten kann. Geht man nun, die Identität dieser zwei Kometen vorausgesetzt, mit der daraus folgenden Umlaufszeit von $147\frac{1}{2}$ Jahren zurück, so trifft man auf die großen Kometen in den Jahren 1548, 1401, 1254, 1106, 367, 219 und 72 nach Christi Geburt, und endlich auch auf den von 371 vor Christo, dessen Erscheinung Aristoteles im ersten Buche seiner Meteorologie beschreibt. Von diesen Erscheinungen sind die im Jahre 1106 und die zur Zeit des Aristoteles, weil sie in derselben Jahreszeit stattfanden, wie die vom Jahre 1843, also auch Komet und Erde beiläufig dieselbe relative Lage haben mußten, der letzteren so ähnlich, daß fast kein Zweifel über die Identität übrig zu bleiben scheint.

Laugier und Mauvais hingegen bemerkten, daß man auch unter der Annahme einer Umlaufszeit von 35 Jahren für den Kometen von 1843 zu einer Reihe von sehr großen Kometen gelangt, worunter die von 1106 und 1668. Für den von 1106 fanden die genannten Astronomen, daß unter Voraussetzung des Durchganges durch das Perihel am 3. Februar 1106, die meisten während der Sichtbarkeit im März und April 1106 gemachten Beobachtungen mittels der Elemente des Kometen von 1843 ganz befriedigend dargestellt werden, und daß auch der Komet von 1668 dem von 1843 ähnlich sei, wurde schon erörtert. Laugier und Mauvais untersuchten daher, ob eine Umlaufszeit von 35 Jahren den Beobachtungen von 1843 nicht widerspreche, und fanden, daß dies nicht der Fall sei, sondern daß sie durch die oben als III angesetzte Bahn genügend dargestellt werden können.

Allein damit noch nicht genug. Clausen in Dorpat sowie Walker und Kendall in Philadelphia machten darauf aufmerksam, daß sich unter der Annahme einer Umlaufszeit von $21\frac{7}{8}$ Jahren, die beiden Kometen von 1668 und 1689 und dann der von 1843 als Rückkehr ein und desselben Himmelskörpers darstellen lassen. Diesen Gedanken führten Walker und Kendall weiter aus,

indem sie bemerkten, daß acht Umläufe von $21^7/_8$ Jahren gerade 175 Jahre ausmachen, und daher in diese Periode auch noch die meisten der früher genannten Kometen sich einschließen lassen. Beim Durchsuchen der Kometographie von Pingré trafen sie auch auf nicht weniger als 24 Kometen, die sie alle für identisch mit dem von 1843 hielten, und sahen demgemäß eine Umlaufszeit von $21^7/_8$ Jahren als erwiesen an.

Clausen endlich ging noch einen Schritt weiter, indem er die Umlaufszeit auf 7 Jahre herunterſetzte, und dadurch natürlich eine sehr große Anzahl von glänzenden Kometen-Erscheinungen früherer Jahrhunderte mit dem Kometen von 1843 in Zusammenhang bringen konnte. Unter dieser Voraussetzung leitete er die oben als IV bezeichnete Bahn ab, welche die Beobachtungen zwischen 20. und 28. März vollständig befriedigend darstellt.

Aus dem eben Gesagten ersieht man wohl zur Genüge, daß durch alle diese mühsamen und zeitraubenden Untersuchungen eigentlich nichts Sicheres ermittelt wurde. Dies rührt zunächst daher, daß sich beim Versuche der Identifizierung eines Kometen mit einem in früheren Jahrhunderten erschienenen, in der Regel schon deshalb kein positives Resultat erzielen läßt, weil in den meisten Fällen außer der Notiz, daß in diesem oder jenem Jahre ein Komet erschienen sei, keine weitere Angabe über seinen Lauf am Himmel vorkommt, und dort, wo dies etwa der Fall ist, die Angaben sehr roh sind, indem der Ort des Kometen nur ganz beiläufig durch seine Lage zwischen einigen bekannten Fixsternen bezeichnet ist. Es kann daher besten Falls aus derlei Beobachtungen eben auch nur eine ganz rohe und ungenaue Bahnbestimmung abgeleitet werden.

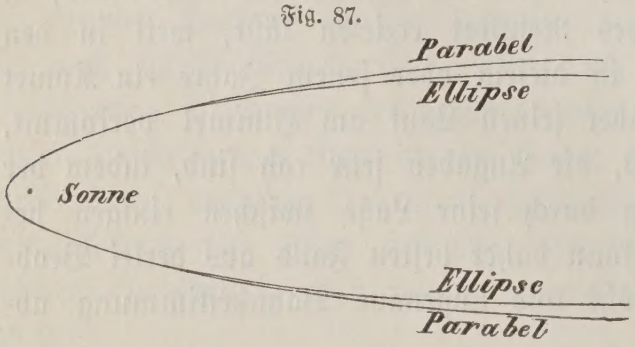
Bei dem Kometen von 1843 tritt außerdem noch ein zweiter Umstand hinzu, die Unsicherheit zu vermehren: es ist dies die enorm kleine Perihelsdistanz. Diese bewirkt nämlich, wie aus den oben mitgeteilten Bahnen ersichtlich ist, daß, selbst wenn man mit der Umlaufszeit auf wenige Jahre herabgeht, die Excentricität der Einheit noch immer sehr nahe gleich bleibt, und infolgedessen die Ellipse von der Parabel erst in Entfernungen von der Sonne sich merklich zu unterscheiden beginnt, wo der Komet unseren Blicken schon längst wieder entschwunden war; es muß daher jeder einigermaßen bedeutende Wert, der für die große Achse angenommen wird, in dem kleinen Stücke der Bahn, welches während der kurzen Sichtbarkeit des Kometen von ihm durchlaufen wurde, den Beobachtungen genügen.

Dieses anschaulich zu machen, diene Fig. 87, welche das ganze Stück der Bahn zeigt, das der Komet während der Dauer seiner Sichtbarkeit durchlief, unter der Annahme der obigen parabolischen Elemente von Nikolai. Der Maßstab ist so angenommen, daß die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne 27 cmt wird. Nebst dieser Parabel haben wir auch noch eine Ellipse dazu gezeichnet, welche dieselbe Periheldistanz hat wie die Parabel, und deren

große Achse gleich ist der großen Achse der Erdbahn. In dieser Ellipse würde also der Komet eine Umlaufszeit von nur einem Jahre haben, während diese bei der Parabel unendlich groß ist. Nun sieht man aber in der Figur sehr deutlich, wie gering dessenungeachtet der Unterschied zwischen den beiden Bahnen in der Nähe des Perihels bleibt. Würde man noch eine zweite Ellipse zu zeichnen versuchen, deren große Achse gleich der zehnfachen großen Achse der Erdbahn wäre, in welcher also der Komet eine Umlaufszeit von etwa 32 Jahren hätte, so würde man sie in der Figur von der Parabel schon nicht mehr unterscheiden können. Wir sehen demnach, daß die Umlaufszeit dieses Kometen durch Beobachtungen in der Nähe des Perihels nicht mit Sicherheit auszumitteln ist.

Übrigens muß bemerkt werden, daß alle hier skizzierten Untersuchungen gleich nach dem Erscheinen des Kometen angestellt wurden, und daher zu den obigen Bahnbestimmungen nie der Komplex aller vorhandenen Beobachtungen, sondern immer nur ein sehr geringer Teil derselben verwendet werden konnte, was natürlich die an und für sich schon sehr bedeutende Unsicherheit des Resultates noch erheblich vergrößert.

Fig. 87.



Erst im Jahre 1852 hat Hubbard eine auf alle damals bekannten und zu diesem Zwecke verwendbaren Beobachtungen gegründete umfassende Untersuchung der Bahn dieses Kometen unternommen, welche das oben unter V verzeichnete Resultat lieferte.

Nach diesen Elementen beträgt die halbe große Achse der Bahn des Kometen 65·7 und die Apheldistanz desselben 131 Erdbahnhalbmesser; die letztere Entfernung wäre im Maßstabe unserer Fig. 86 beiläufig 200 m. Im Perihele nähert sich der Komet dem Sonnencentrum bis auf 823 000 km, und da der Halbmesser der Sonne 693 300 km beträgt, der Oberfläche derselben bis auf 129 700 km, d. h. bis auf 0·3 der Entfernung des Mondes von der Erde. In dieser geringen Entfernung erscheint die Sonne dem Kometen unter einem Durchmesser von 115°, also als ein riesiger Feuerball, der beinahe die Hälfte des sichtbaren Firmamentes bedeckt, und ihn mit einer Intensität erleuchtet und erwärmt, welche 32 600mal stärker ist als die Erleuchtung und Erwärmung der Erde durch die Sonne. Darf man sich da wundern, daß bei dieser enormen Erhitzung der ganze Körper des Kometen mit einer Heftigkeit erglüht, vermöge welcher er selbst am Tage hart neben der Sonne sichtbar wird, und daß ein nicht geringer Teil seiner Masse sich verflüchtigt und zerstäubt, und dadurch zur Bildung eines so ungeheuren Schweifes Veranlassung giebt?

Im Aphel hingegen entfernt sich der Komet bis auf 19 500 Millionen km von der Sonne, also auf weit mehr als die vierfache Entfernung Neptuns. In

dieser Entfernung erscheint ihm die Sonne nur noch unter einem Winkel von 15″ und erleuchtet und erwärmt ihn 17 300 mal schwächer als unsere Erde. Noch auffälliger tritt aber die Bedeutung dieser Zahlen hervor, wenn man die Intensität der Erleuchtung und Erwärmung des Kometen im Perihel und Aphel direkt mit einander vergleicht: die erstere findet sich dann 563 Millionen mal größer als die letztere!

Nicht minder grelle Kontraste zeigen sich in den Bewegungsverhältnissen. Im Periphel beträgt die Winkelbewegung des Kometen um die Sonne während der seinen Periheldurchgang einschließenden Stunde allein 140° oder nahezu die Hälfte seiner Bahn, so daß er, wenn er diese Geschwindigkeit unverändert beibehielte, die Sonne in einem einzigen Tage mehr als 10 mal umkreisen würde. Im Aphel hingegen benötigt er 46 Tage, um, von der Sonne aus gesehen, nur einen Winkel von 1″ zurückzulegen, so daß er in diesem Teile seiner Bahn ihr gegenüber jahrelang ganz stille zu stehen scheint. Ebenso große Kontraste zeigen sich aber auch in seiner absoluten Geschwindigkeit. Während nämlich die Erde in ihrer Bewegung um die Sonne im Durchschnitte in jeder Sekunde 29·59 km fortschreitet, durchfliegt der Komet im Perihel in einer Sekunde 562·22 km; im Aphele hingegen sinkt seine Geschwindigkeit auf 0·024 km in der Sekunde herab.*) Als der Komet am 19. April 1843, etwa 50 Tage nach seinem Periheldurchgange, das letzte Mal am Kap der guten Hoffnung gesehen wurde, stand er bereits in einer wahren Anomalie von 173° oder nur noch 7° von seinem Aphel entfernt, und es hätte ein Komet mit einer der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne gleichen Periheldistanz volle 332 Jahre gebraucht, um dieselbe Anomalie zu erreichen.

Bei der ungeheuren Geschwindigkeit, mit welcher der Komet sich im Perihele um die Sonne schwingt, ist ein anderer Umstand um so merkwürdiger, den wir deshalb hier nicht mit Stillschweigen übergehen wollen.

*) Bei dem Kometen von 1680, dem einzigen uns näher bekannten, mit einer ebenso kleinen Periheldistanz, gestalten sich die Verhältnisse ganz ähnlich, nur weisen sie wegen seiner großen Umlaufszeit in mancher Beziehung noch größere Extreme auf. Nach den Untersuchungen von Encke hat nämlich dieser Komet eine Umlaufszeit von 8810 Jahren, und demgemäß eine halbe große Achse von 426·7 Halbmessern der Erdbahn bei einer Periheldistanz von nur 0·006222 solcher Halbmesser oder von 925 000 km. Er kann sich daher im Perihele der Oberfläche der Sonne wohl nur bis auf 232 000 km, oder beiläufig bis auf 0·6 der Distanz des Mondes von der Erde nähern, entfernt sich dafür aber im Aphel von der Sonne bis auf 126 800 Millionen km, oder bis auf die 28fache Distanz Neptuns. Im Perihele erscheint ihm die Sonne unter einem Durchmesser von 97°, im Aphel hingegen bloß unter einem solchen von wenig mehr als 2″, oder kaum so groß wie uns Neptun. Die Intensität der erleuchtenden und erwärmenden Kraft der Sonne ist im Perihele 25 800 mal stärker, im Aphel hingegen 182 000 mal schwächer als auf der Erde, verhält sich daher in beiden Fällen zu einander wie 4700 Millionen zu 1. Seine Winkelgeschwindigkeit um die Sonne beläuft sich im Perihele auf 118° in der Stunde, während er im Aphele 1840 Tage braucht, um einen Winkel von 1″ zurückzulegen. Dementsprechend ist auch seine absolute Geschwindigkeit im Perihele 530 km in der Sekunde, im Aphele hingegen nur eben noch 4 m, d. i. kaum halb so groß als die Geschwindigkeit eines gewöhnlichen Eisenbahnzuges!

Die Natur des Kegelschnittes, welchen ein Gestirn um seinen Centralkörper beschreibt, hängt unter anderem hauptsächlich von der Geschwindigkeit ab, die er in irgend einem Punkte seiner Bahn, für welchen wir, um die Ideen zu fixieren, das Perihel annehmen wollen, besitzt. Beträgt die Geschwindigkeit in einer Sekunde $\frac{41{\cdot}84}{\sqrt{q}}$ km, wo q wie früher die Periheldistanz bedeutet, so bewegt sich der Körper in einer Parabel; übersteigt sie diese Größe, so entsteht eine Hyperbel, bleibt sie aber unter derselben, eine Ellipse (III. Abt. § 20). In den beiden ersten Fällen kehrt das Gestirn nie wieder zur Sonne zurück, sondern verliert sich in dem unermeßlichen Weltraum, und nur im letzteren Falle beschreibt es eine geschlossene Bahn. Je geringer nun die Geschwindigkeit wird, desto weniger excentrisch, d. h. desto kreisähnlicher gestaltet sich die Bahn, bis sie endlich in einen vollkommenen Kreis übergeht. Würde nun bei unserem Kometen die Perihelgeschwindigkeit von 562·22 km nur um 0·01 km, d. h. 10 m vermehrt, so würde er bereits in einer parabolischen Bahn einhergehen; würde hingegen die Geschwindigkeit auf 562·15 km, also nur um 0·07 km verringert, so würde seine Umlaufszeit bereits auf 29 Jahre herabgemindert. Diese Thatsache illustriert wohl beredter, als irgend etwas anderes dies vermöchte, die Schwierigkeit, welche sich der Bestimmung der Umlaufszeit unseres Kometen entgegenstellt. Sie ist jedoch noch in einer andern Beziehung sehr lehrreich. Wenn man erwägt, daß der Widerstand unserer Atmosphäre bereits in ihren höchsten, außerordentlich dünnen Schichten die Geschwindigkeit der in sie eindringenden Meteore fast vollständig vernichtet, und daß der Widerstand des Mittels aufs mindeste dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional wächst, wie gering muß da nicht die Dichte des raumerfüllenden Mediums auch in der unmittelbarsten Nähe der Sonne sein, wenn sein Widerstand selbst so ungeheuere Geschwindigkeiten nicht merkbar herabzusetzen vermag. Dies letztere ist aber ganz gewiß der Fall, weil nach dem Obigen die Bahn unseres Kometen schon in eine Ellipse von sehr kurzer Umlaufszeit hätte verändert werden müssen, wenn der Widerstand des Mittels imstande gewesen wäre, seine Perihelgeschwindigkeit auch nur wenige Meter zu verlangsamen.

Dies Resultat erscheint noch um so überraschender, als der Komet bei seinem Periheldurchgange nicht nur die dichteren Partien der Sonnencorona durchschneidet, sondern selbst noch tief in Regionen eindringt, in welche häufig Protuberanzen emporsteigen. Denn Protuberanzen, welche 4′ oder rund 170 000 km über den Sonnenrand hervorragen, sind gar nicht selten; ja es hat am 30. August 1880 Thollon eine beobachtet, welche bis auf 8·4′, d. i. 364 000 km sich erhob, und am 7. Oktober desselben Jahres Young eine wahrgenommen, welche sogar die enorme Höhe von 13′ oder 563 000 km erreichte (§ 27), während nach dem Obigen der Perihelabstand des Kometen von der Sonnenoberfläche bloß 129 700 km beträgt.

§ 158. (II. Der große südliche Komet von 1880.) Nach dem Bekanntwerden der

Hubbard'schen Bahnberechnung des großen Kometen von 1843 wurden keine weiteren Untersuchungen über diesen Himmelskörper angestellt, bis sich im Jahre 1880 ganz unvermutet eine Veranlassung bot, dieselben neuerdings aufzunehmen.

Am 1. Februar 1880, nach anderen aber bereits am 31. Januar, sah man nämlich an mehreren Orten in Australien und Südamerika kurze Zeit nach dem Untergange der Sonne einen langen hellen Lichtstreifen, welcher von jenem Punkte auszugehen schien, an dem die Sonne eben untergegangen war. Dieser Lichtstreifen durchzog die Sternbilder des Kranichs und südlichen Fisches, war nach der Richtung des Südpoles hin mäßig zurückgekrümmt, und wendete seine konvexe Seite Fomalhaut zu. Am 2. Februar wurde dieses Phänomen, welches zweifellos der Schweif eines großen Kometen war, schon sehr allgemein bemerkt; doch konnte auch an diesem Tage der Kern des Kometen nicht aufgefunden werden. Selbst am folgenden gelang dies noch nicht, so daß Gill nach Europa schrieb: „We have a comet by the tail, but J am sorry to say, that we only have him by the tail still." Erst am 4. Februar war Gould so glücklich, den Kern zu erblicken, aber noch so nahe am Horizonte, daß eine eigentliche Beobachtung nicht mehr angestellt werden konnte; eine solche erhielt er erst am 5., und verfolgte nun den Kometen sorgfältig bis zum 19. Februar, wo er inzwischen schon so lichtschwach geworden war, daß er selbst im Refraktor von $28^1/_2$ cm Öffnung nur noch als ein kaum wahrnehmbares weißes Wölkchen erschien. Einen noch kürzeren Zeitraum umfassen die Beobachtungen am Kap und in Melbourne, wo sie wegen der geringeren optischen Hilfsmittel dieser Sternwarten schon am 15. und 17. Februar geschlossen werden mußten.

Eine sehr bemerkenswerte Eigentümlichkeit dieses Kometen war die unverhältnismäßige Länge des Schweifes gegenüber seiner Breite, und die geringe Helligkeit des Kernes. In den ersten Tagen seiner Sichtbarkeit betrug die Länge des Schweifes 40^0—45^0, die Breite desselben war durchaus fast gleich, erreichte aber kaum $1^1/_2{}^0$. Von einem eigentlichen Kerne war nie etwas zu sehen; der Kopf stellte sich vielmehr als ein wolkenartiges, verwaschenes Gebilde dar, das in der Richtung des Schweifes, den es an Lichtstärke nur wenig übertraf, verlängert erschien.

Die größte Helligkeit scheint der Schweif am 7. und 8. Februar erreicht zu haben, wo er an Lichtstärke etwa den helleren Partien der Milchstraße gleich kam. Von da an verblaßte er rasch; doch konnte er noch am 14. Februar, wenn auch schwierig, mit freiem Auge bis auf eine Länge von 37^0 verfolgt werden, während, wie oben erwähnt wurde, schon 5 Tage später auch der Kern selbst in großen Fernrohren unsichtbar wurde.

Als die ersten Nachrichten über diesen Kometen in Europa bekannt wurden, führte die frappante Ähnlichkeit der ganzen Erscheinung mit den eigentümlichen Phänomenen, welche der Komet von 1843 gezeigt hatte, den Herausgeber auf die Vermutung, daß wir in demselben nur eine Wiederkehr des letztgenannten

Kometen vor uns haben, und veranlaßte ihn, zu untersuchen, ob nicht etwa bei schicklicher Wahl der Zeit des Periheldurchganges die Beobachtungen des jetzigen Kometen mit den Elementen des Kometen von 1843 darstellbar seien. Diese Untersuchung führte nun zu dem Resultate, daß dies ganz gut angehe, wenn man die Perihelpassage auf 1880 Jan. 28., $1^h\ 40^m$ morgens mittl. Par. Zeit verlegt. Fast gleichzeitig wurden auch direkte Bahnberechnungen aus den vorhandenen Beobachtungen von Gould, Ralph Copeland, Hind u. a. bekannt, welche alle eine große Ähnlichkeit mit den Elementen des Kometen von 1843 zeigten, und dadurch eine neue Bestätigung der oben ausgesprochenen Ansicht zu liefern schienen.

Der Identifizierung der Kometen von 1843 und 1880 stellten sich aber die Untersuchungen von Hubbard entgegen, welche dem erstgenannten Himmelskörper eine Umlaufszeit von 533 Jahren zuweisen, und es schien um so weniger zulässig, diese, ohne den damaligen Beobachtungen Zwang anzuthun, auf 37 Jahre zu reduzieren, als Hubbard schon ein Zurückgehen auf eine Umlaufszeit von 175 Jahren kaum mehr für zulässig hält. Diese Schwierigkeit zu umgehen, nahmen mehrere Astronomen den Widerstand der Sonnencorona oder des widerstehenden Mittels schlechtweg zu Hilfe, was eine Reihe interessanter Untersuchungen veranlaßte. So suchte Klinkerfues nachzuweisen, daß der 371 v. Christo erschienene Komet des Aristoteles die erste Erscheinung unseres Himmelskörpers gewesen sei, und daß seine früher parabolische Bahn bei seinem Durchgange durch die Coronal-Region der Sonne in eine Ellipse von 2039 Jahren Umlaufszeit verwandelt worden sei. Seine zweite Rückkehr sei daher der Komet von 1668 gewesen, über dessen Ähnlichkeit mit dem Kometen von 1843 schon gesprochen wurde. Bei dieser zweiten Erscheinung wurde nun seine Umlaufszeit abermals, und zwar auf 175 Jahre verkürzt, so daß er bereits 1843 zum drittenmale zu seinem Perihele zurückkehrte, wobei eine neuerliche Herabminderung seiner Umlaufszeit auf 37 Jahre eingetreten sei. Rechnet man jetzt mit den so gewonnenen Daten über die Intensität des Widerstandes in der Sonnenatmosphäre weiter, so würde bei dieser Perihelpassage die Umlaufszeit auf 17—18 Jahre herabgesetzt worden sein, und man hätte daher schon am Ende dieses Jahrhunderts, etwa 1897 oder 1898, abermals eine Rückkehr des Kometen zu erwarten. Zu ganz ähnlichen Folgerungen gelangten auch Marth, Hind und andere; Gould hingegen glaubt, daß durch die Reibung der einen Seite des Kometen an der Sonne selbst, oder wenigstens an den dichteren Teilen ihrer Atmosphäre, eher eine successive Verlängerung der Umlaufszeiten eingetreten sein könne, weil er die Kometen von 1668 und 1702, deren Perihelien nur um 34 Jahre auseinanderliegen, mit denen von 1843 und 1880 für identisch hält, und weil sich dann mittlerweile die Umlaufszeit von 34 auf nahe 37 Jahren vergrößert haben muß.

Bei allen diesen Untersuchungen übersah man aber, daß die Beobachtungen

des Kometen von 1843, auf den es hier allein ankommt, mit Ausnahme der wenig sicheren Beobachtung von Clarke am Tage des Perihels, erst zu einer Zeit anfangen, wo der Komet schon wieder die Merkursbahn überschritten hatte, also zu einer Zeit, wo das wie immer geartete widerstehende Mittel seine Bahn schon längst in die Ellipse mit kurzer Umlaufszeit hätte umgewandelt haben müssen. Es wäre daher schon von vornherein vorauszusehen gewesen, daß die Einführung des widerstehenden Mittels zur besseren Darstellung der Beobachtungen des Kometen von 1843 in einer Ellipse von 37 Jahren Umlaufszeit gar nichts beitragen werde, indem unter den obwaltenden Umständen die Bahn von Hubbard viel eher beweisen würde, daß der Komet bei seinem Periheldurchgange überhaupt keinen Widerstand erlitten hat. Derartige Überlegungen veranlaßten einen Teil der Astronomen, die Hypothese der Identität der Kometen von 1843 und 1880 sofort aufzugeben. Der Herausgeber zeigte indes, daß die Untersuchungen von Hubbard einer kurzen Umlaufszeit des Kometen vom Jahre 1843 keineswegs in dem Maße widersprächen, als man annehmen zu müssen glaubte, indem bei so kleinen Periheldistanzen die allgemein übliche und auch von Hubbard angewendete Methode unbrauchbar wird, nach welcher man, von einer bestimmten Bahn ausgehend, die Fehler in Bahnen von anderer Umlaufszeit mittels linearer (Differential-) Formeln berechnet. Um hier ein wahres Bild über die übrig bleibenden Beobachtungsfehler zu erhalten, muß man bereits die provisorische Bahnberechnung der gewünschten Umlaufszeit anpassen, und erst die so erhaltene Bahn durch Vergleichung mit allen vorhandenen Beobachtungen zu verbessern suchen, wodurch man einen viel besseren Anschluß an die Beobachtungen erzielt. Eine auf diese Art gewonnene Bahn für den Kometen von 1843 ist die folgende, der wir zur Vergleichung die wahrscheinlichste Bahn für den Kometen von 1880 an die Seite setzen, welche Dr. W. Meyer aus dem Inbegriffe aller Beobachtungen desselben unter der Voraussetzung einer 37 jährigen Umlaufszeit berechnet hat.

	1843 I	1880 I.
Zeit des Perihels	Febr. 27·3475	Jan. 27·4507
Länge des Perihels	78° 10′6	74° 14′·0
Länge des aufst. Knotens	358 13·3	356 18·6
Neigung	143 42·0	143 7·8
Periheldistanz	0·006129	0·005907
Excentricität	0·999447	0·999468
Umlaufszeit	36·92 Jhr.	37 Jhr.
Berechner	Weiß	Meyer

Die obige Bahn des Kometen von 1843 stellt die Beobachtungen jenes Jahres zwar bei weitem nicht so gut dar, wie die Hubbard'sche, ohne aber in denselben unerträgliche Fehler übrig zu lassen; sie genügt aber, wenn man den Periheldurchgang im Jahre 1880 auf Januar 27·4489 mittl. Pariser Zeit ver-

legt, auch den Beobachtungen dieses Jahres innerhalb weniger Bogenminuten. Nun kennen wir allerdings schon mehrere Kometen, die, ohne identisch zu sein, in sehr ähnlichen Bahnen einhergehen; daß aber zwei in einem Intervalle von mehreren Jahrzehnten nach einander in die Sonnennähe kommende Kometen so gleiche Bahnen beschreiben sollten, daß die Beobachtungen des einen durch die Elemente des anderen bis auf wenige Bogenminuten sollten dargestellt werden können, ist doch zu einzig in seiner Art, um glaubwürdig zu erscheinen. Rechnet man überdies mit der Umlaufszeit von 36·9 Jahren auf frühere Jahrhunderte zurück, so stößt man auf zwei Kometen, welche in ihrer äußeren Erscheinung denen von 1843 und 1880 sehr ähnlich waren, und deren Lauf ebenfalls durch die Elemente dieser Kometen vollkommen wiedergegeben wird: es sind die Kometen von 1695 und 1106, von denen auch bereits oben gesprochen wurde. Ferner kann man mit großer Wahrscheinlichkeit auch die Tagesbeobachtung eines Kometen am 1. August 1179 hierher beziehen, und mit einem, allerdings geringerem Grade von Sicherheit auch Tagesbeobachtungen von Gestirnen in der Nähe der Sonne aus den Jahren 1363 und 1511. Schließt man diese letzteren zur Unterscheidung in Klammern ein, so erhält man folgendes Tableau:

Zahl der Periheldurchg. vor 1880.	Perihelzeit.	Mittl. Dauer eines Uml. in d. Zwischenzeit.
21	1106 Februar 4	36·75 Jahre
11	1179 August 1	36·76 =
14	(1363 Mai 27)	37·62 =
10	(1511 Jahresmitte)	36.86 =
5	1695 Oktober 24	36·83 =
1	1843 Februar 27	36·91 =
0	1880 Januar 7	

Auch der schon mehrfach erwähnte Komet des Aristoteles von 371 v. Christo würde in diese Reihe passen, wenn man so weit zurückgehen will, und wäre vermutlich die 61. Perihelpassage vor 1880, und die mittlere Dauer eines Umlaufes in der ganzen Zwischenzeit 36·90 Jahre.

Eine Bemerkung, die sich wohl vielen Lesern aufdrängen wird, ist die, wie so es komme, daß der Komet von 1843, wenn er wirklich eine so kurze Umlaufszeit besitzt, trotz seiner Größe erst so selten bemerkt wurde, und so häufig ganz unbeachtet bleiben konnte. Eine ziemlich genügende Erklärung dieser sicherlich sehr sonderbaren Thatsache dürfte in der eigentümlichen Bahn des Kometen zu finden sein, vermöge welcher er auf der nördlichen Halbkugel, die in früheren Jahrhunderten allein in Betracht kommen kann, für das freie Auge immer nur auf sehr kurze Zeit, und auch nur dann am Abendhimmel sichtbar ist, wenn sein Perihel in den Februar oder März fällt. Da nun seine Umlaufszeit sehr nahe 36 Jahre und 11 Monate beträgt, kann er nach einer beobachteten Erscheinung eine Reihe der folgenden nicht wieder gesehen werden.

§ 159. (III. Der große Komet von 1882.) In diesem Stadium ruhte die Unter-

suchung wieder eine kurze Zeit, bis in den ersten Septembertagen von 1882 abermals auf der Südhalbkugel plötzlich neuerdings ein Komet ersten Ranges auftauchte, der am 18. September, dem Tage seines Periheldurchganges, ebenfalls in unmittelbarer Nähe der Sonne vielfach mit freiem Auge gesehen wurde, dann gegen Ende des genannten Monates, wieder aus den Sonnenstrahlen auftauchend, auch auf der nördlichen Halbkugel kurz vor Sonnenaufgang sichtbar wurde und zu der glänzendsten Erscheinung seit dem großen Julikometen von 1861 sich entfaltete. Ehe wir aber auf die höchst merkwürdigen Phänomene, die er zeigte, näher eingehen, wollen wir, um den Zusammenhang nicht zu zerreißen, zunächst seine Bahnverhältnisse besprechen.

Gleich die ersten Bahnbestimmungen ergaben für diesen Kometen wieder eine ungemein kleine Periheldistanz und auch in den anderen Elementen eine so große Ähnlichkeit mit den Elementen der Kometen von 1843 und 1880, daß mehrere Astronomen nicht anstanden, ihn sofort für identisch mit diesen beiden zu erklären und die seither eingetretene Verkürzung der Umlaufszeit von 37 auf $2^1/_2$ Jahre auf Rechnung des widerstehenden Mittels zu schieben. Als jedoch die Beobachtungen einen größeren Bogen umspannten, zeigte es sich sogleich, daß die Elemente des jetzigen Kometen denen des Kometen von 1843 zwar ähnlich, aber bei weitem nicht gleich seien; ebenso bemerkte man sehr bald eine andere sehr erhebliche Verschiedenheit. Während der Komet von 1843 und auch der von 1880 nach dem Periheldurchgange ungemein rasch an Lichtstärke abnahmen und in kurzer Zeit wieder verschwanden, nahm die Helligkeit des vorliegenden so langsam ab, daß er noch im Anfange des Jahres 1883 bequem mit freiem Auge wahrgenommen werden konnte.

Die große Ähnlichkeit, welche im allgemeinen zwischen den Elementen dieses Kometen und denen der Kometen von 1880 und 1843 besteht, ist insofern von hohem Interesse, als sie das Vorhandensein mehrerer Kometen mit ungemein geringer Periheldistanz nachweist, welche in sehr ähnlichen Bahnen die Sonne umkreisen. Diese nun erkannte Thatsache hat zwar auf jenen Teil der Argumente, die wir oben zu Gunsten der Identität der Kometen von 1843 und 1880 aus diesen beiden Erscheinungen allein ableiteten, keinen weiteren Einfluß; wohl aber beraubt sie jene Gründe, die wir für diese Identität aus früheren Erscheinungen herholten, fast aller Beweiskraft. Denn man kann von vornherein, auch ohne die Berechnung wirklich auszuführen, mit Bestimmtheit behaupten, daß jenen rohen Beobachtungen früherer Jahrhunderte (beispielsweise denen von 1106), welchen die Elemente der Kometen von 1843 und 1880 genügen, auch die Elemente des Kometen von 1882 genügen müssen.

Die merkwürdigste Eigentümlichkeit, die den vorliegenden Kometen auszeichnete, war der große Glanz, den er zur Zeit seiner Perihelpassage entfaltete, und die lange Dauer dieser außergewöhnlichen Lichtentwickelung. Denn schon am 16. September, einen Tag vor seinem Durchgange durch die Sonnennähe, konnte er von

Gould im Sucher des Refraktors der Sternwarte zu Cordoba den ganzen Tag verfolgt werden und wurde auch an diesem Tage bereits in Montevideo mit freiem Auge gesehen. An den folgenden Tagen, vom 17.—20. September, namentlich an den beiden ersten, muß er überdies trotz seiner Nähe an der Sonne ein sehr auffälliges Objekt gewesen sein, da zahlreiche Nachrichten aus fast allen Teilen der Erde über seine Sichtbarkeit vorliegen. So verfolgte ihn unter anderen Ellacott am 18. September von Mittag bis Sonnenuntergang mit freiem Auge, während welcher Zeit er einen Bogen von 90° um die Sonne beschrieb. Ja, es gelang Mallet noch am 22. September, wo er sich auf Veranlassung von W. de Fonvielle in einem Ballon über die Dunstatmosphäre von Paris erhob, den Kometen mit freiem Auge neben der Sonne zu erblicken, und Milloševich in Rom, denselben auch noch am 23. September den ganzen Tag hindurch im Fernrohre wahrzunehmen. Wie groß dabei zur Zeit der Perihelpassage seine Lichtintensität gewesen sein muß, geht wohl am besten daraus hervor, daß Gould in Cordoba, Tebutt in Windsor (Neu Süd Wales) und Common in Ealing (England) am 17. September den Kometen gleichzeitig mit der Sonne im Gesichtsfelde des Fernrohres sahen, und daß die Astronomen Finlay und Elkin am Kap der guten Hoffnung sogar so glücklich waren, den Kometen bis zu seinem Verschwinden am Sonnenrande verfolgen zu können, — eine Beobachtung, die bisher einzig in ihrer Art dasteht. Nach den übereinstimmenden Berichten beider Beobachter glich der Komet dabei ganz einem Sterne und hatte dieselbe Helligkeit wie der Sonnenkörper, von dem er sich höchstens durch die Weiße seiner Farbe unterschied, so daß sein Antritt an den Sonnenrand ganz dem Antritte eines Sternes an den hellen Mondrand bei einer Sternbedeckung glich und auch mit derselben Schärfe beobachtet werden konnte. Auf der Sonnenscheibe selbst bemerkten die Beobachter keine Spur vom Kometen, weshalb sie anfänglich glaubten, es habe eine wirkliche Bedeckung desselben durch die Sonne stattgefunden, während er, wie sich später aus den Elementen ergab, vor der Sonne vorüberging. Der Austritt des Kometen war am Kap unsichtbar, weil die Sonne dort mittlerweile untergegangen war.

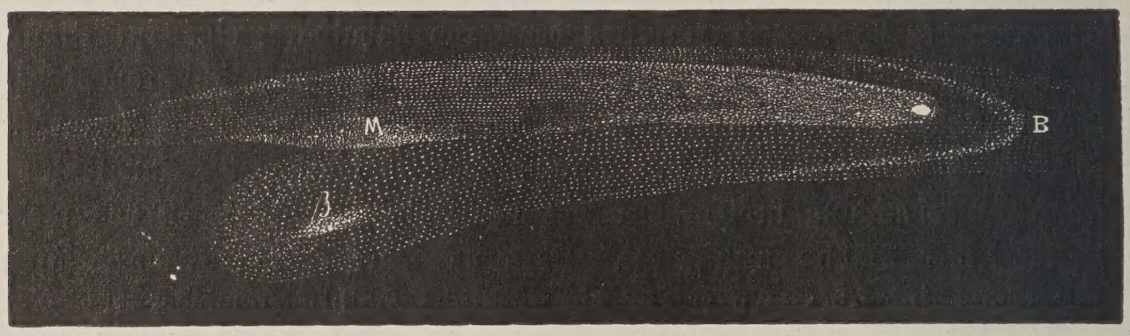
Es ist sehr zu bedauern, daß die beiden Telegramme, welche Gill nach Europa sandte, als er die ungemein rasche Helligkeitszunahme des Kometen bemerkte, um die Astronomen der nördlichen Halbkugel auf die Möglichkeit aufmerksam zu machen, daß in den nächsten Tagen ein Komet bei vollem Tageslichte gesehen werden könnte, und sie dadurch zu veranlassen, die Nachbarschaft der Sonne genau zu überwachen, wegen der damaligen kriegerischen Verhältnisse in Ägypten dort zurückgehalten wurden. Denn es wäre sonst wahrscheinlich noch an mehreren anderen Orten der Vorübergang des Kometen vor der Sonne beobachtet worden, und gerade diese Beobachtungen hätten für Untersuchungen über den Widerstand, den der Komet bei seinem Durchgange durch die Coronalregionen der Sonne etwa erlitten, wie für die genaue Bestimmung seiner Bahn überhaupt, einen unschätzbaren Wert.

Besonders beachtenswert ist auch die Verschiedenheit, mit welcher bei diesem Kometen die Lichtzunahme vor dem Perihel und die Lichtabnahme nach demselben erfolgte. So viel bis jetzt bekannt ist, wurde er erst in den ersten Tagen des September, wahrscheinlich am 3., in Auckland und in der argentinischen Republik bemerkt, also etwa 14 Tage vor dem Durchgange durch seine Sonnennähe. Nach diesem Durchgange war er aber noch im Dezember eine ganz imposante Erscheinung, und es bewirkte nicht etwa die Bahnlage, sondern nur eine wirkliche Änderung der Lichtintensität des Kometen diese Verschiedenheit. Nach seinem Perihele nahm überhaupt die Helligkeit des Kometen sehr langsam ab, indem er den meisten Beobachtern für das freie Auge erst um die Mitte Februar wegen seiner Lichtschwäche verschwand. Thomé konnte ihn auf der Sternwarte zu Cordoba, sogar noch am 7. März, allerdings ganz an der Grenze der Sichtbarkeit, mit unbewaffnetem Auge wahrnehmen, während die Beobachtungen am Fernrohre natürlich einige Monate weiter fortgesetzt werden konnten. Der Komet wurde nämlich, wieder auf der Sternwarte von Cordoba, bis zum 1. Juni verfolgt und verschwand dann nicht so sehr wegen seiner Lichtschwäche, sondern vielmehr wegen seiner tiefen Lage am Horizonte. Zu jener Zeit betrug seine Entfernung von der Erde 5·05 Einheiten der Erdbahnhalbaxe; eine Entfernung, bis zu welcher damals nur noch der wegen seiner außergewöhnlich großen Periheldistanz berühmte Komet von 1729 gesehen worden war. Vom 7. September 1882, wo er das erste Mal am Kap beobachtet wurde, bis zur letzten eben erwähnten Beobachtung in Cordoba hat der Komet einen Bogen von mehr als 340° in seiner Bahn zurückgelegt. Übrigens wäre er auch wahrscheinlich im August und September, wo er für die nördliche Halbkugel wieder am Morgenhimmel erschien, mit den mächtigen Fernrohren, die jetzt auf derselben aufgestellt sind, noch mehrmals gesehen worden, wenn seine Stellung eine günstigere gewesen wäre.

Nicht minderes Interesse boten auch die Änderungen dar, die nach und nach im Kometenkörper selbst vor sich gingen. Was zunächst den Kern betrifft, wird er vor dem Durchgange durch das Perihel und auch nach demselben bis zum 22. September allgemein als rund angegeben; zwischen dem 24. und 28. September nahm er aber allmählich eine spindelförmige Gestalt an, in der sich zwischen dem 30. September und 2. Oktober zwei, nur durch eine sehr dünne dunklere Linie getrennte Lichtknoten bildeten, ganz als ob der Kern sich in zwei Teile gespalten habe. Im weiteren Verlaufe der Erscheinung verlängerte sich der Kern immer mehr und mehr; es traten auch nach und nach noch weitere Kondensationscentren in ihm auf, sodaß er Ende Oktober einer Schnur mit mehreren an einander gereihten Perlen nicht unähnlich sah. Mit der Verlängerung des Kernes nahm aber die Schärfe seiner Begrenzung ab, und mit dem Schwächerwerden des Kometen wurde auch die Zahl der in ihm sichtbaren Lichtknoten wieder geringer und sank Ende Februar abermals auf zwei herab, die aber nicht

mehr knapp neben, sondern schon ziemlich weit von einander standen, indem ihre Entfernung nach Schmidt 1·5′ betrug, während nach Ricco die Länge des ganzen kernartigen Gebildes damals bereits 3′ erreichte. Es scheint also, als ob hier wirklich ein Zerreißen des Kernes und ein stetig fortschreitendes Auseinanderrücken der einzelnen Bruchstücke stattgefunden habe, das im weiteren Verfolge zur Trennung des Kometen in zwei oder mehrere selbständige Himmelskörper führen würde. Andrerseits hat Prof. C. H. F. Peters auf eine andere, nicht unwahrscheinliche Deutung dieser Erscheinung hingewiesen. Er bemerkte nämlich gegen Ende Oktober, als der Komet für unsere Halbkugel sich immer mehr aus den dichten Dünsten in der Nähe des Horizontes zu erheben begann, am Kopfe desselben fächerartige Ausströmungen, wie wir sie schon am Halleyschen Kometen und dem 1862 III kennen gelernt haben und später noch an einem anderen hellen Kometen (§ 160) wiederfinden werden. Er glaubt nun, daß bei diesem Kometen vom Kerne nicht nur ein Lichtstrahl in der Richtung zur Sonne, wie deren häufig sogar mehrere vorkommen (vgl. Tafel IX), sondern auch einer in

Fig. 88.



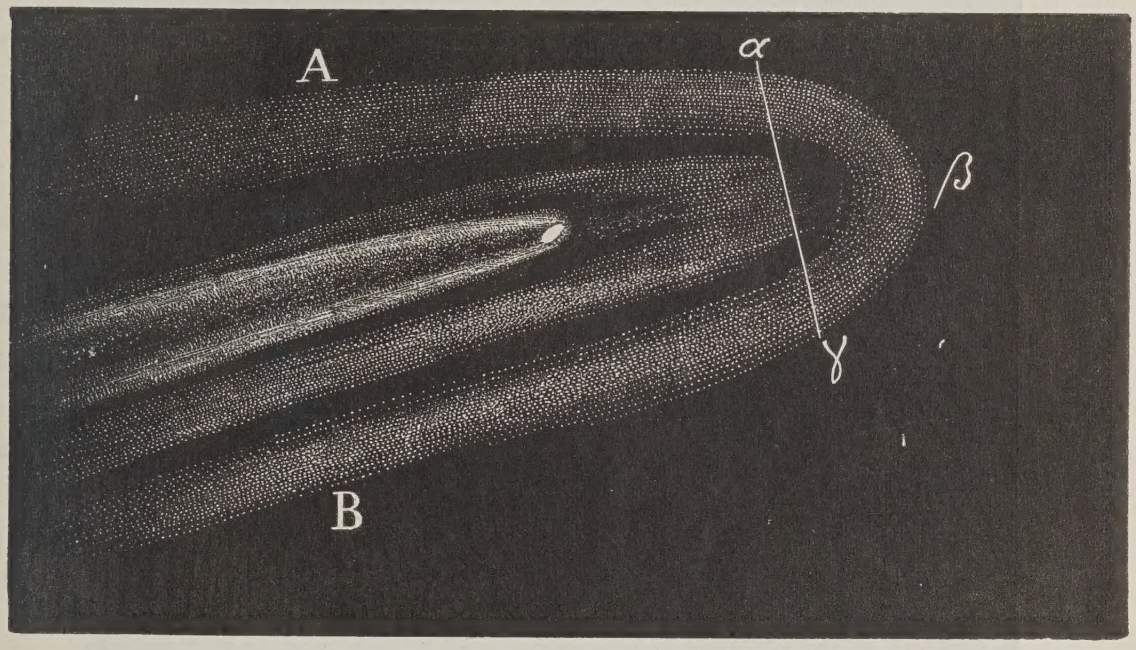
der Richtung der Schweifachse ausgegangen sei, wie man solche, wenn auch selten, doch ebenfalls schon wiederholt, beispielsweise am großen Kometen von 1861 gesehen hat, und daß dies die oben erwähnte Erscheinung verursacht habe. Für diese Auffassung scheint auch der Umstand zu sprechen, daß die Achse des scheinbar spindelförmigen Kernes anfangs mit der Längsachse des Schweifes nahe zusammenfiel, allmählich aber sich immer schiefer gegen dieselbe stellte, sodaß sie nach Tebutt Ende November schon einen Winkel von etwa 45° mit derselben einschloß.

Auch der Schweif des Kometen bot ein merkwürdiges Bild dar. Zur Zeit seiner größten Entwickelung fast den ganzen Oktober hindurch schien es, als ob er eigentlich aus drei verschiedenen Teilen bestehe, wie dies Fig. 88 veranschaulicht, die nach einer Zeichnung von Schmidt in einem Kometensucher, also bei schwacher Vergrößerung, angefertigt ist. Neben dem schmalen Hauptschweife des Kometen war noch ein breiterer, aber kürzerer und schwächer leuchtender vorhanden, der mit dem Hauptschweife nicht in derselben Ebene zu liegen schien außerdem zeigte sich in der Richtung zur Sonne hin, jenseits von B, noch eine

schmale, beiderseits ziemlich scharf begrenzte Nebelmasse von beträchtlicher Länge, welche Schmidt, der die interessanten Erscheinungen dieses Kometen am genauesten verfolgte, Nebelrohr nannte, weil es den Eindruck machte, als ob der ganze Komet in einem Nebelrohre stecke.

Mit einer stärkeren Vergrößerung betrachtet, zeigte der Kometenkopf die Gliederung der einzelnen Teile noch weit deutlicher, wie dies Fig. 89 veranschaulicht, wo die äußere Hülle A $\alpha\,\gamma$ B das eben erwähnte Nebelrohr von Schmidt darstellt. Dieselben Erscheinungen sah auch Schiaparelli, doch konnte er am 19. Oktober bei sehr günstigen atmosphärischen Verhältnissen auch noch das abgerundete Schlußstück $\alpha\,\beta\,\gamma$ des Nebelrohrs erkennen, wodurch sich dasselbe als ein dritter, den Kometenkern in weiter Ausdehnung umhüllender Schweif zu erkennen gab.

Fig. 89.



Noch merkwürdiger waren verschiedene, rasch vergängliche isolierte Nebelmassen, die man mehrmals in der Nähe des Kometen bemerkte. Die auffälligste derselben entdeckte Schmidt in Athen in der Nacht vom 9. auf 10. Oktober, und konnte sie auch die beiden folgenden Nächte beobachten. Diese Nebelmasse ist samt ihrer relativen Lage gegen den Hauptkometen an den eben genannten drei Tagen auf Fig. 90 abgebildet.

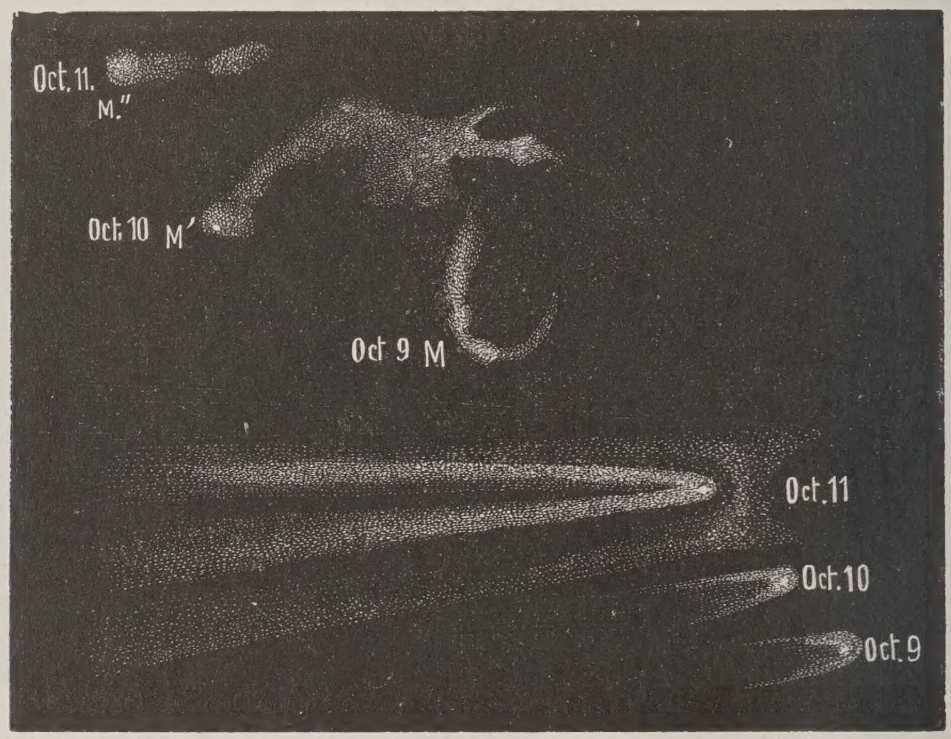
In der ersten Nacht, wo Schmidt sie gegen $4^1/_2$ Uhr morgens auffand, hatte sie eine so beträchtliche Helligkeit, daß sie bequem in einem kleinen Kometensucher sichtbar war; sie stand etwa 3^0 südwestlich vom Kerne des Kometen, hatte die Gestalt einer Sichel von im ganzen $0{\cdot}8^0$ Ausdehnung, mit einem Lichtknoten am Scheitel und zwei, aber schwächeren ebensolchen im südlichen Arme.

In der folgenden Nacht vom 10. auf 11. Oktober hatte sie sich beiläufig

um 1° vom Hauptkometen weiter entfernt und ihre Gestalt ganz geändert, indem sie einer umgekehrten, an ihren Spitzen mit 4 oder 5 lichtknotenartigen Anschwellungen versehenen Krone nicht unähnlich war. Dabei hatte sich das Gebilde wesentlich vergrößert, war aber im ganzen erheblich blässer geworden.

In der nächsten Nacht hatte sich der Nebel wieder um 1° vom Kometenkopfe entfernt, war viel blässer geworden, und hatte seine Gestalt abermals vollständig geändert, indem er jetzt einem schwach gekrümmten Bogen mit Lichtknoten an beiden Enden und in der Mitte glich. In der Nacht vom 12. auf 13. Oktober konnte Schmidt bei nicht ganz reiner Luft keine Spur der Erscheinung mehr sehen und sie auch später nicht wieder finden.

Fig. 90.



Das Telegramm, in welchem Schmidt seine Entdeckung mitteilte, gelangte leider erst am 12. Oktober in die Hände der Astronomen, sodaß dieses interessante Gebilde außer von ihm nirgends in Europa gesehen wurde; wohl aber bemerkte es auch Dr. Hartwig zur See auf seiner Fahrt nach Bahia Blanca zur Beobachtung des Venusdurchganges am 9. Oktober nahe in derselben Gestalt und Lage wie Schmidt in Athen.

Bereits einige Tage nach dem Verschwinden dieser Nebelmasse, nämlich am 14. Oktober, sah Barnard etwa 6° südwestlich vom Kometen wieder mehrere, im ganzen 6 Nebelmassen, deren hellste einen Durchmesser von beiläufig 15′ hatte. Alle diese Nebelmassen zeigten gegen das Centrum hin Verdichtungen, glichen also vollständig teleskopischen Kometen, waren aber am folgenden Tage schon wieder verschwunden.

Endlich bemerkte Brooks am 21. Oktober abermals eine Nebelmasse von etwa 2° Ausdehnung in einer Entfernung von 8° vom Kometen, diesmal aber östlich von demselben, und es gelang ihm auch, diese Nebelmasse in der folgenden Nacht noch einmal, aber in bedeutend geringerer Helligkeit zu sehen.

Mit diesen Nebelmassen in einer gewissen Beziehung könnten auch die hellen Wolken stehen, die Schmidt in den Schweifen des Kometen nicht fern von ihrem Ende wahrnahm, und von denen die beiden hellsten (Fig. 88 bei M und β angedeuteten) vom 5. Oktober bis 11. November so deutlich und bestimmt hervortraten, daß er eine Reihe ziemlich sicherer Ortsbestimmungen derselben ausführen konnte. Aus diesen Positionen folgert nun Bredechin, daß die Sonne auf diese beiden Nebelwolken nur mit einer Kraft einwirkte, die bloß 0·25 und 0·4 der gewöhnlichen (allgemeinen) Attraktionskraft beträgt, daß dieselben beziehungsweise am 18. September um 8^h abends und um 5^h morgens mittl. Pariser Zeit vom Kometen sich loslösten, und daß sie dann hyperbolische Bahnen um die Sonne beschrieben.

Auch aus den drei Beobachtungen des von Schmidt zwischen dem 10. und 12. Oktober gesehenen Nebels wurden unter der Annahme, daß (Fig. 90) die mit M, M' und M'' bezeichneten helleren Lichtknoten identisch seien, von mehreren Seiten Bahnen berechnet, die wohl insofern mit der Bahn des Hauptkometen eine gewisse Ähnlichkeit aufweisen, als sie ebenfalls sehr geringe Perihelistanzen besitzen, diese Bahn jedoch nicht durchschneiden, sondern im Gegenteile sich ihr nirgends auch nur erheblich nähern. Da indes an der Zusammengehörigkeit des Schmidt'schen Nebels mit dem großen Kometen nicht wohl zu zweifeln ist, berechnete Zelbr unter verschiedenen Annahmen über die Entfernung desselben von der Erde noch eine Reihe anderer Bahnen, um zu sehen, ob sich dadurch nicht doch eine finden ließe, welche die Bahn des Hauptkometen durchschneidet, kam jedoch dabei zu dem Resultate, daß es nicht angehe. Dies veranlaßte Herrn Dr. v. Hepperger, zu untersuchen, ob man nicht zu einem befriedigenderen Resultate gelangen könne, wenn man die Annahme macht, daß die Sonne mit einer anderen Kraft als der der allgemeinen Gravitation auf den Nebel gewirkt habe, — eine Annahme, die, wie wir später sehen werden (§ 163), zur Erklärung der Bildung der Kometenschweife herangezogen wird und nach dem oben Gesagten auch von Bredechin bei der Bahnberechnung der Lichtwolken im Schweife eingeführt wurde. In Ausführung dieses Gedankens fand nun v. Hepperger, daß man die Bewegungserscheinungen des Schmidt'schen Nebels wohl mit ausreichender Genauigkeit darstellen könne, aber nur unter der immerhin sehr gewagten Voraussetzung, daß, nachdem sich das ganze Gebilde in der Nacht vom 7. auf 8. Oktober vom Kometen losgelöst hatte, die einzelnen Teile desselben verschiedenen Kraftäußerungen der Sonne unterworfen gewesen seien. Während nämlich die westlichen in Fig. 90 mit M, M' und M'' bezeichneten Lichtknoten sich so bewegten, als ständen sie unter dem Einflusse einer abstoßenden Wirkung

der Sonne, erfordert die Darstellung der Bewegung der östlichen Massen die Hypothese einer erhöhten Anziehungswirkung derselben.

Von hoher theoretischer Bedeutung sind auch die Spektralbeobachtungen, die an diesem Kometen ausgeführt wurden. Dieselben beginnen am 18. September, wo Thollon und Gouy in Nizza zur Mittagszeit, als sie die Nachbarschaft der Sonne in Bezug auf die Klarheit des Himmels untersuchen wollten, zu ihrem Staunen neben der Sonne, etwa 3° westlich von derselben, einen hellen Kometen mit einem Schweife von 20′ Länge erblickten. Das Spektrum desselben bestand, wie Taf. XIV zeigt, aus einer Reihe heller Linien, von denen namentlich die beiden Natriumlinien besonders hervortraten, und einem darüber gelagerten recht hellen kontinuierlichen Spektrum, das auf der violetten Seite sich sehr weit erstreckte. Außerdem war auch noch das gewöhnliche Atmosphärenspektrum mit seinen Fraunhofer'schen Linien deutlich wahrnehmbar, und es fiel daher sofort sehr auf, daß die hellen Natriumlinien des Kometen gegenüber den Natriumlinien der Atmosphäre um $^1/_5$—$^1/_4$ ihrer Distanz gegen das rote Ende hin verschoben waren. Thollon und Gouy schlossen daraus, daß sich der Komet von der Erde entferne, und zwar mit einer Geschwindigkeit von 61—76 km in der Sekunde, weil nach den Wellenlängen von Angström die Geschwindigkeit, welche einer Verschiebung um das ganze Intervall von D_1 bis D_2 entspricht, 305 km beträgt. Diese Voraussage bestätigte sich später, als die Bahn des Kometen bekannt wurde, vollinhaltlich; denn nach derselben entfernte er sich in den Nachmittagsstunden des 18. September von der Erde um 1^h mittl. Nizza-Zeit mit einer Geschwindigkeit von 76·4 und um 4^h mit einer von 71·4 km in der Sekunde. Die Verschiebung der hellen Natriumlinien des Kometenspektrums gegen die Natriumlinien des Luftspektrums bemerkte am 28. September auch E. v. Gotthardt auf seiner Privatsternwarte zu Herenyi.

Mit den Wahrnehmungen von Thollon und Gouy stimmen auch die Spektralbeobachtungen überein, die Lohse in Dunecht ebenfalls am 18. September angestellt hat; nur bemerkte er im Kometenspektrum noch mehr helle Linien als Thollon, darunter einen Teil der stärkeren Eisenlinien, weil er eine weit bedeutendere Dispersion anwendete. Auch in den folgenden Tagen blieb der Charakter des Spektrums derselbe, und es überwogen noch am 22. September die hellen Natriumlinien das übrige Spektrum so sehr an Helligkeit, daß Ricco beim Öffnen des Spaltes den Kopf des Kometen als ein kugelförmiges Gebilde erblickte, genau so, als ob derselbe bloß monochromatisches Licht aussenden würde. Gegen Ende des Monates nahmen aber die Natriumlinien so wie die übrigen hellen Linien und auch das kontinuierliche Spektrum rasch an Intensität ab, dafür trat jedoch das gewöhnliche Bandenspektrum des Kohlenwasserstoffes immer deutlicher hervor, so daß Prof. Vogel schon am 7. Oktober dieses Spektrum mit dem des Leuchtgases direkt vergleichen konnte, wobei es sich demselben absolut identisch zeigte.

Diese Beobachtungen sind für die Erkenntnis der Vorgänge im Innern eines Kometen bei beträchtlicher Annäherung an die Sonne von großer Tragweite, weil sie die Wahrnehmungen, die man kurz vorher am Kometen Wells (1882 I) gemacht hatte, sehr schön ergänzen.

Nachdem man nämlich seit 1864, wo Donati das erste Mal das Spektroskop zur Analysierung des Kometenlichtes anwendete, an allen bis zum Jahre 1882 genauer spektroskopisch untersuchten Kometen durchaus das gleiche, bloß aus drei einseitig verwaschenen hellen Banden bestehende Spektrum wahrgenommen hatte, welches wie das auf Taf. XIV abgebildete Spektrum des Encke'schen Kometen mit dem Spektrum der Kohlenwasserstoffe identisch ist, erstaunte man nicht wenig, als das Spektrum des Kometen Wells, das anfangs ganz dem gewöhnlichen Kometenspektrum geglichen hatte, bei seiner Annäherung zum Perihele seinen Charakter vollständig änderte, indem darin die Natriumlinien als helle Linien sichtbar wurden und gleichzeitig das Bandenspektrum sich bis zum Verschwinden abschwächte, statt dessen aber in der Coma ein kontinuierliches auftrat. Die Änderungen im Spektrum nach dem Periheldurchgange konnte man aber am Kometen Wells nicht studieren, weil er nach demselben der Sonne immer zu nahe stand. Dafür gelang dies aber, wie wir so eben gesehen haben, sehr vollständig am obigen Kometen. Aus der Zusammenstellung der Wahrnehmungen an diesen beiden Kometen wissen wir jetzt, daß bei einer starken Annäherung eines Kometen an die Sonne sein gewöhnliches Bandenspektrum verschwindet und einem aus hellen Linien, unter denen in beiden bisher beobachteten Fällen die Natriumlinien besonders kräftig hervortraten, Platz macht. Nach dem Periheldurchgange verschwindet aber dieses Spektrum allmählich wieder, und es tritt gleichzeitig das gewöhnliche Bandenspektrum allmählich wieder stärker hervor, bis es schließlich abermals ganz allein übrig bleibt. Diese Erscheinungen stimmen nach den Untersuchungen von Hasselberg und Vogel ganz mit den Erscheinungen überein, welche man an Gase und Metalle enthaltenden Geißler'schen Röhren beobachten kann. Bei elektrischen Entladungen von geringer Intensität zeigen solche Röhren bloß das Spektrum der in ihnen enthaltenen Gase; wenn aber bei gesteigerter elektrischer Intensität oder durch Erhitzung die Metalle zum Verdampfen gebracht werden, übernehmen diese die Überführung des Stromes: es treten daher in dem Momente, wo die Spektra der Metalldämpfe erscheinen, die Spektra aller sonst vorhandenen Gase zurück und nehmen in dem Maße ab, wie die Intensität der Metallspektra zunimmt. Die Spektralbeobachtungen der beiden mächtigen Kometen des Jahres 1882 bilden daher in der Reihe der Gründe, welche für einen, mindestens teilweise elektrischen Ursprung der kometarischen Lichterscheinungen angeführt werden können, ein Glied von nicht zu verkennender Bedeutung. Aus diesem Grunde ist auch die Ansicht von Boß, daß die großen, an manchen Kometen bemerkten Helligkeitsschwankungen elektrische, unseren Polarlichtern ähnliche Erscheinungen seien, sehr beachtenswert.

§ 160. (Der Donati'sche Komet.) Dieser Himmelskörper bot so vieles Herrliche in seiner äußeren Erscheinung, daß wir annehmen dürfen, dem Leser werde eine genaue Beschreibung desselben willkommen sein, die wir einer klassischen Monographie dieses Kometen von W. C. Bond, Direktor der Sternwarte des Harvard College (V. St.), entnehmen.

Der Komet wurde am 2. Juni 1858 als schwacher, nur in stärkeren Fernrohren sichtbarer Nebel neben dem Sterne λ des großen Löwen von Donati in Florenz entdeckt, und als der Mond nicht mehr hinderte, am 28. Juni von H. P. Tuttle in Cambridge (V. St.), am 29. von H. M. Packhurst in Perth Amboy und am 1. Juli von Miß Mitchel in Nantucket selbständig aufgefunden. Da das Gestirn zur Zeit seiner Entdeckung sich gerade auf die Erde zu bewegte und deshalb fast stille zu stehen schien, fielen die ersten Bahnberechnungen sehr unsicher aus; doch war man schon binnen kurzem einer sehr bedeutenden Erscheinung für Ende September und Anfang Oktober sicher.

Am 29. August wurde der Komet in der Gestalt eines nebelartigen Sternes 6. Größe mit freiem Auge sichtbar, nachdem man mit dem Fernrohre am 20. die ersten Spuren eines Schweifes bemerkt hatte, der am 6. September eine Krümmung zeigte, welche nicht in der Bahnebene des Kometen lag, da die Erde um jene Zeit sehr nahe in dieser Ebene stand.

Von Anfang September an stellte sich eine rasche Zunahme an Licht und Schweiflänge ein, indem bereits am 12. September der Kopf des Kometen einem Sterne 3. Größe glich und die Länge des Schweifes schon 6° betrug. Da das Gestirn um diese Zeit vor der Sonne auf- und nach derselben unterging, so daß man es morgens und abends erblickte, verleitete dies viele Unkundige zu dem Glauben, es seien 2 verschiedene Kometen zu sehen.

Zwischen dem 29. und 30. September ging der Komet durch sein Perihel in einer Entfernung von 76·5 Millionen km von der Sonne und etwa 106 Millionen km von der Erde. Da er sich aber der letzteren noch immer rasch näherte, erreichte er erst am 5. Oktober seinen größten Glanz, an welchem Tage er in den ersten Abendstunden sehr nahe bei Arktur vorüberzog, dem er an Glanz wenig nachstand, obschon die Intensität sehr verschieden war. Der Schweif reichte über Benetnasch und Mizar, erschien 35° lang und 5°—6° breit. Mit einiger Aufmerksamkeit waren auch 2 Nebenstreifen zu sehen, deren einer sich auf 50°—60° erstreckte und eine leichte Krümmung hatte.

Am 10. Oktober stand der Komet der Erde am nächsten, war aber bereits im Abnehmen begriffen, obschon weiter ausgebreitet als früher: am 20. Oktober sank er unter den Horizont der Sternwarten der nördlichen Halbkugel, verschwand auf der südlichen dem freien Auge anfangs Dezember, konnte aber teleskopisch von Maclear am Kap bis 4. März 1859 verfolgt werden. Seine Umlaufszeit beträgt nach den definitiven Bahnbestimmungen durch v. Asten und Hill etwa 1900 Jahre; sie ist jedoch wegen ihrer sehr bedeutenden Dauer begreiflicherweise

auf mehrere Jahrzehnte unsicher. So viel steht indes fest, daß dieser Himmelskörper vor seiner Erscheinung in 1858 um die Zeit des Beginnes unserer Zeitrechnung durch seine Sonnennähe ging, und im Anfange des 10. Jahrhunderts seine Sonnenferne erreicht hatte, in welcher er beiläufig 310 Halbmesser der Erdbahn oder 46 000 Millionen km von der Sonne abstand.

Indem wir nach diesen allgemeinen Vorbemerkungen auf die nähere Beschreibung der physischen Erscheinungen an diesem Kometen übergehen, sei zunächst erwähnt, daß die wichtigeren und interessanteren Veränderungen am 12. September einzutreten anfingen, wo am Kerne sich das erste Mal eine der merkwürdigen Ausströmungen zeigte, deren auf Tafel IX zwei zu sehen sind. Hierauf begannen zwischen dem 17. und 23. September um den Kern herum lichte Hüllen sich zu bilden, deren Scheitel zur Sonne gerichtet war und deren Ende allmählich in den Schweif überging. Die ebengenannte Tafel zeigt 3 solcher Hüllen.

Vom 17. September an war die südliche Seite (Abends links unten) des Schweifes entschieden die glänzendere und deren konvexe Begrenzung heller und schärfer als die konkave. Dies blieb so durch mehrere Wochen; dann verschwand dieser Unterschied allmählich und schlug anfangs Oktober ins Gegenteil um, wo der rechte Teil bleibend der lichtere wurde. Am 20. September war der Lichtschweif an der Wurzel gespalten, indem vom Kopfe zwei ungleiche Ströme ausgingen, zwischen sich einen dunkeln, kanalähnlichen Raum lassend. Dieser Kanal blieb ziemlich scharf begrenzt und dunkel bis Anfang Oktober, wo er allmählich weniger deutlich hervorzutreten begann, gleichsam als ob er sich auch nach und nach mit zerstreutem Lichte füllen würde, und am 11. Oktober nur eben noch wahrzunehmen war.

Am 23. September bei nahe vollem Monde erschien der Komet dem freien Auge wie ein Stern 1. Größe mit 6^0—8^0 langem Schweife. Der teleskopische Anblick war wahrhaft außerordentlich, der Kern sehr intensiv und konzentrierter als am 20. September, hatte jetzt, eine Woche vor dem Perihel, seinen größten Glanz; ihn umgab eine sich auf 15″ erstreckende lichte Hülle, deren Scheitel zur Sonne gerichtet, und deren äußerer Umriß dunkel war. Die Grenze einer zweiten, weniger hellen Hülle steht in ihrem Scheitel etwa 30″ vom Kerne ab; auch ihr Umriß ist durch einen dunklen Bogen eingefaßt, und kann durch 220^0 oder mehr um den Kern als Zentrum gezählt, unterschieden werden, erstreckt sich aber auf der östlichen lichten Seite viel weiter in den Schweif als auf der westlichen.

Am 25. September war der Kern eben im Begriffe, eine neue Hülle abzuwerfen: wohl das erste wahrgenommene Beispiel solcher embryonischer Entwickelung, die sich später öfter wiederholte. Die dunkle Achse besteht aus einem schmalen, gut definierten Streifen, der bis zum Kerne reicht. Von dem letzteren gehen zwei kleine Ströme leuchtender Materie aus, jeder auf einer Seite,

zweifelsohne um dem nun reißend wachsenden Schweife Lichtstoff zuzuführen. Um den Kern und den ihm augenscheinlich zugehörenden Nebel ist ein vergleichsweise dunkler Raum, auf welchen Hüllen folgen, und endlich über Allem ein dünner Schleier von diffusem Lichte. Die dunkle Achse und den Himmelsgrund mitgerechnet hat man 9 Abwechselungen von Licht und Dunkelheit verschiedener Grade.

Am 27. September war der Umriß einer neuen Hülle deutlich wahrzunehmen: in Form und Lage eine Miniatur der bisherigen neuesten Hüllen. Wie die letzte steht dieselbe schief und neigt sich auf die rechte Seite der Achse. Auch ein Nebenschweif ist aufgetreten in Gestalt eines langen schmalen, von der konvexen Seite des Schweifes ausgehenden Strahles, welcher dessen Krümmung nicht folgt, sondern in gerader Richtung von der Sonne sich erstreckt.

Den 28. September reagiert der Kern photographisch, nicht so die Hüllen. Die dunkle Öffnung in der Achse nimmt beiläufig $^1/_{12}$ der Breite des Schweifes in der Entfernung von 1^0 vom Kerne ein, und läßt sich 1^0—2^0 weit gut verfolgen. Die kleine halbmondförmige Hülle, welche gestern den Kern nahezu berührte, hat sich über denselben erhoben, und ist im Fernrohre der auffälligste Teil geworden, am hellsten am äußeren Rande; ein Zeichen, daß sie sich eben vom Centralnebel trennen wollte. Zugleich zeigte sich eine allgemeine Verworrenheit als Anzeichen innerer Störungen. Ein Nebenschweif wie am 27. ist ebenfalls wieder vorhanden.

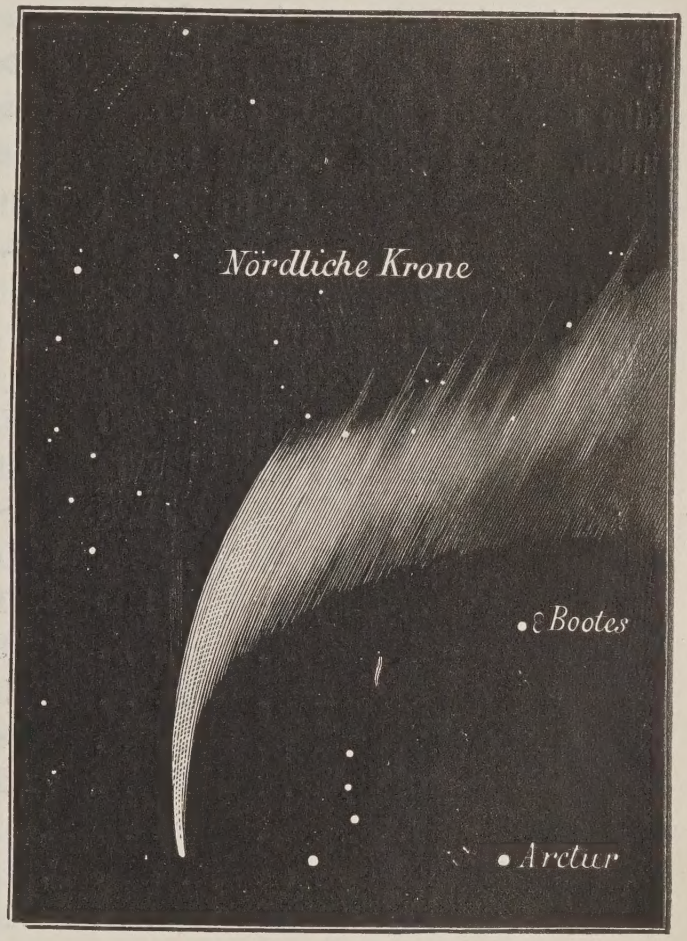
Am 2. Oktober hat sich keine neue Hülle ausgebildet, der Kern ist aber ungewöhnlich hell. In der innersten Hülle drei dunkle Öffnungen, zwischen denen helle Strahlen. Taf. IX giebt für diesen Tag eine Darstellung des Kometen nach einer der zahlreichen trefflichen Abbildungen, mit denen Bond seine Beschreibung des merkwürdigen Gestirnes begleitete.

Am 5. Oktober, dem Tage seines größten Glanzes, war die teleskopische Erscheinung außerordentlich und selten übertroffen. Kern und innerste Hülle bei vollem Sonnenschein sichtbar; der Kopf 20^m nach Sonnenuntergang schon mit freiem Auge wahrzunehmen und zugleich durch das Fernrohr die zweite Hülle. Der dunkle Fleck in derselben hat sich in eben dem Maße vergrößert, wie sie selbst. Der Kern merkwürdigerweise, obwohl glänzender und intensiver leuchtend, auf etwa $1{\cdot}5''$ (630 km) im Durchmesser verkleinert, und überhaupt so klein, wie während der ganzen Erscheinung sonst nie. An diesem Tage, ebenso wie wie auch am vorhergehenden und folgenden, war der sekundäre Schweif wieder sehr deutlich sichtbar; er maß am 4. Oktober 35^0, am 5. und 6. 55^0, was der Reihe nach wirklichen Längen von 53·5, 83·1 und 78·7 Millionen km entspricht. Am 6. Oktober konnten auch noch andere weniger vollkommen entwickelte Anhängsel nahe der Gegend wahrgenommen werden, wo die Krümmung des Hauptschweifes sich plötzlich änderte. Am 8. Oktober zeigten sich 5 oder 6 Streifen im Schweife, $0{\cdot}5^0$ und weniger breit, mit klaren, vollbegrenzten Umrissen und

Strahlen des Nordlichtes, bis auf den Mangel einer merklichen Bewegung völlig gleichend.

Am 10. Oktober waren 5 Hüllen, den äußeren Nebel mitgezählt, den ganzen Umrissen nach oder teilweise sichtbar. Der Schweif war scheinbar am ausgebreitetsten, aber blasser als an den vorhergehenden Tagen; die Verteilung des Lichtes in einer Distanz von 20° bis 30° vom Kerne in parallelen oder wenig divergirenden Streifen abwechselnd mit dunklen Räumen sehr auffallend (Fig. 91). Die Streifen waren 5° lang, 20′ bis 30′ breit und zu vergleichen den Strahlen, die häufig den Nordlichtbogen durchbrechen, oder einer Anhäufung von 5 bis 6 Schweifen von kleinen Kometen, die gleichsam die Überbleibsel des großen bildeten. Diese Streifen waren etwa noch 2 Abende sichtbar, dann durch den Mond verwischt. Überhaupt nahm von nun an der Glanz des Kometen, infolge seiner Entfernung von der Erde, seiner raschen Annäherung an den Horizont und der Zunahme der Helligkeit des Mondes so schnell ab, daß er bereits in der letzten Hälfte des Oktober, ehe er für die nördliche Halbkugel verschwand, zu einem unscheinbaren Objekte herabgesunken war.

Fig. 91.



Eines der merkwürdigsten Phänomene, welches dieser Komet so deutlich zeigte, wie es bisher noch nie beobachtet worden, bestand in der regelmäßigen Bildung und ununterbrochenen Erhebung der Hüllen vom Kerne. Im ganzen wurden sieben verschiedene Hüllen, die nacheinander in Perioden von $4^T\,16^h$ bis $7^T\,8^h$ auftraten, konstatiert. Das Übergehen dieser Hüllen in den Schweif erklärt hinreichend die Spaltung des letzteren in zwei Zweige, die einfach die Fortsetzung früherer Hüllen sind und weiter vom Kerne sich miteinander mischen. Der dunkle Raum in der Schweifachse ist offenbar von den immerhin eine gewisse Begrenzung bewahrenden Hüllen nicht erfüllt. Zuweilen verweilte eine Hülle längere Zeit in der Nähe des Kernes, bevor sie in den Schweif überging (in einem Falle wenigstens 18 Tage), woraus wir schließen dürfen, daß die Partikel des Hüllen-

stoffes nicht auf einmal, sondern erst allmählich die Eigenschaft bekommen, einer Repulsion von Seite der Sonne zu unterliegen. Die Beständigkeit der oben erwähnten lichten und dunklen Flecke im Kopfe des Kometen zeigt eine gewisse Stetigkeit in der Anordnung des Stoffes der Hüllen und widerspricht der Annahme einer Rotation dieser letzteren, ausgenommen so weit der gleiche Anblick des Gestirnes von der Sonne aus eine solche Drehung bedingt. Ebenso geht daraus hervor, daß Schwingungen, wie Bessel sie an Halley's Kometen und andere Beobachter an den Kometen 1844 III, 1853 III u. s. w. bemerkten, hier nicht stattfanden.

Zur Kenntnis der progressiven Bewegung der Hüllen von ihrem Ursprunge folgen hier die Distanzen ihrer Scheitel vom Kerne n, in der Linie vom Kerne zur Sonne, wo mit a bis f die Scheitel der Hüllen bezeichnet sind, die der Reihe nach zuerst am 20., 23., 27. September, 4., 9. und 15. Oktober gesehen wurden. Eine weitere 7. Hülle verließ die Oberfläche des Kernes am 20. Oktober.

Distanzen in Kilometern.

		n → a	n → b	n → c	n → d	n → e	n → f
September	23.	20 500*	10 100	....	....	....	...
=	24.	21 100	9 100	....	....	....	...
=	25.	28 300*	11 200	....	....	....	...
=	27.	....	13 200	5 500	....	....	...
=	29.	....	16 500	9 400	....	....	...
Oktober	2.	....	20 800	11 800	....	....	...
=	4.	....	....	14 000	4 800	....	...
=	5.	....	22 300	15 100	6 600	....	...
=	6.	....	....	15 900	6 700	....	...
=	8.	....	....	19 500	11 300	....	...
=	9.	....	....	20 800	13 600	3000	...
=	10.	....	....	22 200	13 800	4300	...
=	11.	....	....	....	16 000*	6600*	...
=	15.	....	....	....	17 900*	12 800	5050
=	18.	....	....	....	22 800*	15 700	6900
=	19.	....	....	....	....	17 600	8700

Das Zeichen * bedeutet geringere Verläßlichkeit.

Die Helligkeit und Ausdehnung des Kernes war vielfachen Schwankungen unterworfen, die merkwürdigerweise mit dem Abstoßen der Hüllen in innigem Zusammenhang standen. Vermehrter Glanz desselben gab sich als Vorläufer eines neuen Ausbruches zu erkennen; der Kern wurde nämlich glänzender vor einer Eruption, matter nach derselben.

Im Glanze und der Intensität des Kernes wurde der Donati'sche Komet von wenigen erreicht. Trotzdem war der Kern nie so scharf begrenzt, wie etwa eine Planetenscheibe, was der Umstand beweist, daß sein Durchmesser in schwachen

Fernrohren immer größer angegeben wurde als in starken, und daß er bei fortschreitender Dämmerung häufig auf weniger als die Hälfte herabzusinken schien. Aus diesem Grunde und dem oben hervorgehobenen wiederholten Wechsel seiner Größe kann er auch kein solider, einem Planeten ähnlicher fester Körper, sondern eben auch nur eine verdichtete Lichtmaterie gewesen sein, die aber immerhin eine sehr erhebliche Dichte gehabt haben muß, da kein Zweifel darüber bestehen kann, daß er den Stoff für alle abgestoßenen Nebelhüllen und Schweife der jetzigen wie der früheren und künftigen Erscheinungen in sich schloß. Man sollte deshalb die Kometen, statt sie mit Babinet als „des riens visibles" zu bezeichnen, eher „des réalités invisibles" nennen.

Der Durchmesser der den Kern unseres Kometen umgebenden Koma war ebenfalls ungewöhnlich klein, nie viel über 150 000 km, während diese Nebulosität sich beispielsweise beim Kometen von 1811 mehr als eine Million km über den Kern erhob, die obigen Dimensionen also siebenmal übertraf.

Zur Übersicht über die Gestaltungen des Hauptschweifes diene folgende Zusammenstellung, bei welcher auffallende Unregelmäßigkeiten der zeitweisen Unreinheit des Himmels zuzuschreiben sind, die hier sofort störend einwirkt. Die Länge des Schweifes ist in Graden und Millionen Kilometern angegeben, dabei aber seine Krümmung nicht berücksichtigt.

			Länge des Schweifes.		Breite am Ende.	
1858.	August	29.	2^0 = 22·3 Mill. km			
	September	8. und 9.	4 = 25·2			
	=	12.	6 = 29·7			
	=	17.	4 = 15·6			Mondschein.
	=	23.	7 = 18·5			=
	=	24.	7 = 18·5			=
	=	25.	11 = 26·7		$2·4^0$	
	=	27.	13 = 28·2		—	
	=	28.	19 = 40·8		—	
	=	30.	22 = 41·0		4·5	
	Oktober	2.	25 = 42·3		8·2	
	=	5.	35 = 51·9		8·2	
	=	6.	50 = 70·5		—	
	=	8.	50 = 67·5		11·1	
	=	10.	60 = 80·2		15·6	
	=	12.	45 = 61·6		—	
	=	15.	15 = 22·3		—	Mondschein.

Die Verkürzung zwischen dem 12. und 17. September ist dem Monde zuzuschreiben, ebenso der plötzliche Wechsel vom 10. zum 15. Oktober, wo aber wahrscheinlich zugleich eine große Abnahme im Glanze stattfand. Aus Messungen von Winnecke und Pape ergaben sich die Querschnitte des Schweifes, senkrecht

auf die Achse, in der Nähe des Kernes als Kreise, in größerer Entfernung davon als beträchtlich abgeplattete Kurven, deren größte Durchmesser wahrscheinlich in der Bahnebene lagen. Besonders beachtenswert ist auch das, dem Obigen zufolge, im Oktober deutlich hervortretende Streben des Schweifes nach Trennung in einzelne Massen, und in jeder derselben nach Verdichtung um eine Achse. Diese Aggregation um Achsen statt um Mittelpunkte und die Divergenz der Achsen ist sehr merkwürdig.

Die feinen Nebenschweife waren bis dahin ebenso bestimmt nur an dem Kometen von 1807 bemerkt worden, kamen aber in ziemlich ähnlicher Weise auch bei den Kometen 1577, 1680, 1811 I, 1843 I, 1845 III und anderen vor.

Der Donati'sche Komet wurde, obschon von vielen an wirklicher Größe übertroffen, doch in der Pracht seiner Erscheinung nur von wenigen erreicht. Die frühe Entdeckung machte die monatelange Voraussage einer glänzenden Erscheinung möglich; das Perihel fiel in günstige Jahreszeit, wo man auf heiteres Wetter zählen kann; die Lage des Kometen im letzten Teile seines Laufes ließ den Schweif und die Krümmung desselben der ganzen Länge nach wahrnehmen; der Mond schien glücklicherweise in den ersten Tagen Oktobers nicht. Der Vollmond hätte den Kometen vielleicht um $^2/_3$ seiner Länge beraubt und selbst dem Glanze des erübrigenden Drittels sehr geschadet; die Nebenschweife und die abwechselnd lichten und dunkeln Streifen, welche man, wie es scheint, noch nie bemerkte, wären bei Mondschein verschwunden, und dadurch die ganze Erscheinung des größten Teiles ihrer Schönheit und ihres Interesses beraubt worden.

§ 161. (Der große Komet von 1861.) Der zweite Komet von 1861 wird durch seine auffällige Erscheinung den meisten unserer Leser noch erinnerlich sein. Die Wirkung, welche das schöne Schauspiel auf alle Beschauer hervorbrachte, wurde in Europa wesentlich erhöht durch das plötzliche Auftreten des glänzenden Himmelskörpers. Im Süden scheint zuerst Tebbutt, zu Sidney (Neu-Süd-Wales) den Kometen am 13. Mai wahrgenommen zu haben; derselbe war damals eben mit freiem Auge sichtbar. Am 7. Juni hatte der gegen Süden gekehrte Schweif bereits eine Länge von 30°; am 8. zeigte der Kern die Lichtstärke eines Sternes 4. Größe und konnte noch 40 Minuten vor Sonnenaufgang ohne Fernrohr gesehen werden. Am 24. Juni glich der Kern schon einem Sterne 1. Größe, und der Schweif hatte eine Ausdehnung von 40°. Diese Nachrichten kamen aber erst nach Europa, nachdem der Komet mit sehr rascher nördlicher Bewegung des Kernes und schneller Wendung des Schweifes in gleicher Richtung am 30. Juni sich plötzlich über den Horizont unserer Hemisphäre erhoben hatte und nun mit einem Male in voller Pracht sich abends gleich nach Sonnenuntergang zeigte.

Wie sich aus den Rechnungen später ergab, war in unseren Breiten am 29. Juni der Kern noch nicht sichtbar und konnte nur allenfalls ein Stück des Schweifes durch wenige Stunden als ein schwacher Lichtschimmer wahrgenommen

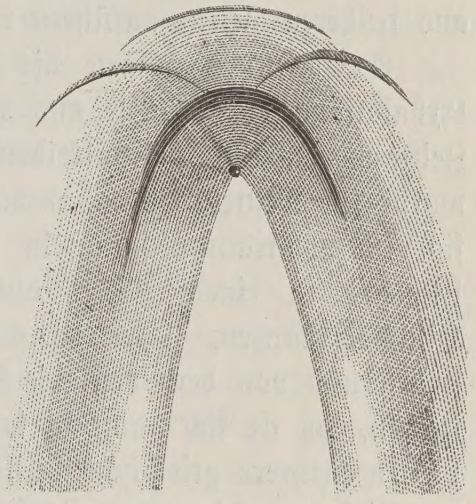
werden, was denn auch Herrn Goldschmidt in Paris gelungen zu sein scheint. Am 30. Juni erschien in Athen dem freien Auge der Kopf mondgroß, der Schweif hatte eine Ausdehnung von 120° und warf Schatten. Wie sehr die Sichtbarkeit des Schweifes durch Umstände aller Art bedingt ist, ergiebt sich z. B. daraus, daß Herr Goldschmidt an demselben Abend ihn nur auf 35° verfolgen konnte. Am 1. Juli wurde der Komet zu Athen noch nach Aufgang der Sonne beobachtet. Der erste Abend, an dem die Witterung in Wien eine Beobachtung gestattete, war der 2. Juli. Der Kern übertraf um 11 Uhr für das freie Auge bei weitem alle Sterne erster Größe und zeigte im Fernrohre selbst mit starken Vergrößerungen nur einen Durchmesser von wenigen Sekunden ohne deutliche Abgrenzung von der übrigen Lichtmasse. Kern und Koma zusammen dehnten sich über nahe einen Grad aus. Die Achse des Lichtschweifes trat als scharf definierte dunkle Linie hervor; die Ausströmungen am Kopfe, die rasch abbiegend die beiden Äste des Schweifes bildeten, standen der Schweifachse keineswegs gegenüber, sondern hatten ihren Ursprung stark seitlich gegen Ost. Der westliche Ast, um den sich ohne unmittelbar wahrnehmbaren Zusammenhang mit dem Kerne ein weiterer, sehr auffälliger Lichtbogen erstreckte, war weit deutlicher entwickelt als der östliche. Die ganze Masse um den Kopf zeigte überraschende Ungleichförmigkeit, so daß Licht- und Schattenpartien überall mit einander abwechselten. Der Schweif erstreckte sich auf 97°. Die Breite desselben betrug nur wenige Grad und blieb beinahe der ganzen Länge nach ziemlich dieselbe; nur in der Nähe des Kernes, bis auf etwa 25° von ihm entfernt, zeigte sich auf der östlichen Seite eine Erweiterung, verwaschen in den Umrissen, während der westliche Rand des ganzen Schweifes scharf begrenzt war. An der Wurzel desselben konnte man eine sanfte Abbiegung nach Osten erkennen, die sich in der eben erwähnten Erweiterung viel entschiedener kundgab. In den folgenden Tagen verlor sich die anfänglich sehr deutlich fächerförmige Anordnung der Lichtmasse um den Kern herum immer mehr. Der Lichtbogen vom 2. Juli war beinahe verschwunden, die früher scharf begrenzte dunkle Linie in der Mitte des Schweifes verschwamm ganz in der lichten Umgebung. In gleicher Weise nahmen diese Einzelheiten während der folgenden Tage an Wahrnehmbarkeit ab; am 12. Juli war nur eben noch der Umriß des Fächers, dem senkrechten Durchschnitte eines Pilzkopfes ähnlich, zu erkennen und fortan die Erforschung des Details bloß stärkeren Fernrohren möglich. Bond sah im ganzen elf Hüllen in Perioden von zwei bis drei Tagen sich bilden. Die Lichtausströmung am Kopfe war viel deutlicher als bei dem großen Donatischen Kometen und zeigte keine Schwankung in ihrer Lage. Sehr merkwürdig waren die Modalitäten, unter welchen bei ganz heiterem Himmel der Lichtschweif erschien. Zuerst am 4. Juli erkannte man ganz deutlich, daß die Ausbreitung des Schweifes in seinem ersten Drittel, vom Kerne weg gezählt, einem zweiten Schweife angehöre, der für das freie Auge stark nach links gebogen sich auf den ersten, weit längeren und geraden Schweif projizierte. Wo der rechte Kontur des

geraden Schweifes von der des krummen durchschnitten wurde, bildete sich dadurch eine scheinbare Einbiegung des Gesamtumrisses, der so bei oberflächlicher Betrachtung sich auf dieser Seite konkav zeigte; nur in Wien und Rom gelang es sofort, den wahren Zusammenhang zu erkennen. Auf der anderen, linken Seite des längeren Schweifes konnte man sehr wohl den dunklen Himmel zwischen beiden Schweifen unterscheiden. Der gerade Schweif erstreckte sich übrigens am 4. Juli nur noch auf etwa 82°, der krumme und etwa 8° breite dehnte sich auf 30° aus. Am 5. Juli maß jener 63°, dieser noch 30°; der letztere setzte ganz deutlich über den ersteren weg. Am 6. Juli beträgt die Länge des geraden Schweifes 59°, der krumme zeigt ziemlich die früheren Dimensionen, nur im ganzen viel weniger Licht. Am 12. Juli ist der gerade Schweif 30° lang und etwa 4° breit, der krumme erstreckt sich auf 21°. Am 13. Juli beträgt die Länge des ersteren 27°, der zweite ist schon sehr matt, in seinen Umrissen aber ziemlich ungeändert. Am 15. Juli beträgt jene Dimension nur noch 18°, der breite Schweif ist noch gut wahrnehmbar. Von nun an hinderte der Mond die Sichtbarkeit dieser schwachen Objekte. Am 29. Juli, wo derselbe die Beobachtung nicht mehr beirrte, hatte der nun einfache Schweif noch eine Länge von 2° und eine Breite von etwa 40′ immer zeigte sich noch der obere Umriß, verglichen mit dem unteren, scharf begrenzt. Das Gestirn entzog sich rasch dem freien Auge, nicht aber starken Teleskopen, die es noch im darauf folgenden Frühlinge als allerdings sehr schwachen Nebel zeigten.

Schon am 6. Juli hatte Herr A. Murmann, Assistent der Wiener Sternwarte, auf die wenigen europäischen Beobachtungen des Kometen, welche damals bekannt waren, eine Bahnberechnung gegründet, aus der sich sofort ergab, daß der Komet zu den bisher noch nicht beobachteten gehöre und früher, als er bei uns sichtbar wurde, im Süden eine glänzende Erscheinung geboten haben mußte, was sich denn auch, wie wir aus obigem wissen, bald bestätigte. Der Tag seines plötzlichen Erscheinens in Europa (30. Juni) war zugleich der seines höchsten Glanzes; er stand zu dieser Zeit nur 15 Millionen km von der Erde ab. Von da an aber entfernte er sich nicht nur wie schon seit dem 11. Juni von der Sonne, sondern zugleich von der Erde. Sein überraschendes Auftreten an unserem Nachthimmel erklärt sich durch die beinahe senkrechte Lage seiner Bahn gegen die Ekliptik. In der Nacht vom 28. zum 29. Juni stand der Komet nahe zwischen Sonne und Erde, für diese aber mehrere Grad westlich von jener, so daß ein Vorübergang des Gestirnes vor der Sonnenscheibe, an den man bei dieser Sachlage denken konnte, nicht stattgefunden hat. Am 30. Juni beobachtete Tebbutt in Sidney eine auffällige Erweiterung der Zweige des Schweifes. Am 2. Juli hatte der Schweif eine wirkliche Länge von 35 Millionen km, betrug, also kaum die Hälfte der Ausdehnung des Donati'schen Kometen vom Jahre 1858, obschon der Schweif des letzteren nur eine scheinbare Länge von 60° erreichte. Die Erklärung hiervon liegt in der verschiedenen Entfernung von der Erde, die bei Donati nie unter 79 Millionen km sank, bei dem jetzigen Kometen aber noch

am 2. Juli nur 22 Millionen betrug. Der Halbmesser des Querschnittes des Schweifes in der Gegend der Erdbahn war bei dem Durchgange des Kometen durch die Ekliptik etwa $8^1/_2$ Millionen km; da die Erde aber zu derselben Zeit noch beiläufig 49 Millionen von dem Punkte ihrer Bahn entfernt war, an welchem der Schweif des Kometen dieselbe kreuzte, so kann man ein eigentliches Eintreten der Erde in den Hauptschweif nicht füglich, wohl aber für den Nebenschweif annehmen. Schätzungen über die Ausdehnung solcher Himmelskörper haben indessen immer ihr Mißliches, und da wir uns diese Gestirne, wie bereits erwähnt wurde, nicht gut anders denn als Agglomerate von einzelnen Körperchen denken können, so ist die Vermutung, daß die von Hind u. a. um den 29. Juni bemerkte eigentümliche Erleuchtung des Abendhimmels so wie die von Ellery, dem Herausgeber u. a. hervorgehobene Häufigkeit der Sternschnuppen (s. Kap. XIV) an jenen Abenden in einem gewissen Zusammenhange mit dem Kometen standen, nicht ganz unmöglich; das wirkliche Zusammentreffen der Erde mit einem Kometen würde kaum in anderer Weise sich unseren Sinnen darstellen.

Fig. 92.



14. Juli $11^h\ 0^m$.

§ 162. (Komet Coggia.) Zum Schlusse dieser Betrachtungen einzelner Kometen sei hier noch des am 17. April 1874 von Coggia in Marseille entdeckten gedacht. Von Mitte Juni an wurde dieser Komet dem freien Auge sichtbar, und obwohl er sich während seiner Erscheinung auf der nördlichen Hemisphäre noch nicht zu seinem vollen Lichte entwickelte, zeigte er doch auch in Europa um die Mitte Juli einen Schweif von etwa 45^0 scheinbarer Länge, was einer wirklichen Ausdehnung von mindestens 45 Millionen km entspricht. Die bekannte Fächerbildung des Kopfes war sehr deutlich; aber außer diesen mit dem Kerne koncentrischen Hüllen traten hier auch seitliche Lichtsegmente auf, die sich gleich Ohren an den Kopf ansetzten. Statt weitläufiger Beschreibungen geben wir in Fig. 92 unseren Lesern eine Abbildung nach Plummer für den 14. Juli.

Der Schweif war noch einige Zeit nach dem Verschwinden des Kernes unter dem Horizonte zu erkennen, bis sich in unsern Breiten nur noch das Ende desselben bei Anbruch der Nacht zeigte. In dieser Periode bemerkten die Herren Wilson und Seabroke ein Phänomen, das immerhin eine gewisse Beachtung verdient. Am frühen Morgen des 22. Juli sahen sie nämlich in England am nördlichen Horizonte in der Gegend, wo das Schweif-Ende des Kometen stehen mußte, eine breite, von der Cassiopeia bis zum großen Bären reichende Stelle des Firmaments auffallend licht und scharf begrenzt, nicht konzentrisch zur Sonne und in der Form eines Fischschweifes in zwei nicht symmetrischen Zweigen nach

oben sich erstreckend. Diese lichte Stelle projizierte sich also auf dem gewöhnlichen Schimmer des sommerlichen Nachthorizontes, und es entsteht die Frage, ob man dieselbe für die Ausläufer des Kometenschweifes halten dürfe, denen die Erde dann so nahe gekommen wäre, daß der Schweif sich uns notwendig in sehr großer Ausbreitung darstellen mußte. Nach der Länge dieses Schweifes am 15. Juli, wo er in Europa noch ganz sichtbar war, und bei dem Umstande, daß der Schweif um die Zeit, in welcher diese Beobachtung angestellt wurde, nicht zu weit ab lag von der Richtung zur Erde, ist solche Vermutung nicht ganz von der Hand zu weisen.

§ 163. (Natur des Kometen.) Was wir hier und früher über den Formwechsel der Kometen mitteilten, mag genügen, um zu zeigen, daß auf diesem Gebiete des Rätselhaften die Hülle und Fülle vorliegt, und wir kaum an der Schwelle auch nur der Konstatierung der wesentlichsten Thatsachen stehen. Dessenungeachtet fehlte es von jeher nie an Erklärungsversuchen, von denen wir zunächst einige aus früheren Zeiten anführen wollen.

Aristoteles erklärte die Kometen für bloße Ausdünstungen der Erde, für Exhalationen der Klüfte und Höhlen, die in unserer Luft aufsteigen, sich eine Zeitlang daselbst herumtreiben und dann wieder verschwinden. Diese Ansicht wurde im Mittelalter dahin modificiert, daß die Kometen böse Dünste seien, die sich im Weltraume sammeln und dann von der Sonne angezogen werden, wo sie, wie in einem Kessel ausgekocht, nach ihrer Reinigung als Planeten am Himmel glänzen. Claudius Comirs hingegen läßt sie aus der Sonne entstehen und von derselben wie Schaumblasen aus einem Schmelzofen in die Höhe steigen, wo sie sich dann so lange erhalten, bis sie platzen. In ähnlicher Weise hielten mehrere griechische Philosophen die Kometen für eine Art von Coagulation der Fixsterne, die, wenn sie sich zufällig nahe kommen, wie geronnene Milch in einander fließen, während Plutarch und andere so weit gingen zu behaupten, sie seien gar nichts reelles, sondern bloß ein Reflex des von anderen Himmelskörpern zurückgeworfenen Sonnenlichtes.

Ehe wir nun auf die Bemühungen unserer Tage näher eingehen, die merkwürdige Form der Kometen zu erklären, wollen wir vorerst in allgemeinen Zügen die Erscheinungen schildern, welche unseren bisherigen Erfahrungen zufolge ein großer Komet bei seiner Annäherung an die Sonne zeigt, um daraus Rückschlüsse auf die dabei thätigen Kräfte ziehen zu können.

Wird ein Komet bereits in großen Entfernungen von der Sonne entdeckt, so erscheint der mehr oder weniger sternartige Kern allseits von einer Nebelhülle umgeben, die während der ganzen Dauer seiner Sichtbarkeit sich nahezu unverändert erhält und deshalb von Olbers als eigentümliche Atmosphäre eines Kometen bezeichnet wurde. Um diese Zeit ist von einem Schweife überhaupt noch nichts wahrzunehmen. Die ersten Spuren eines solchen zeigen sich erst später, und dann tritt in der Regel sofort ein ziemlich rasches Wachsen des-

selben ein. In einem noch späteren Stadium beginnen auf der Sonnenseite des Kometen, von dessen Kern ausgehend, sich fächerförmige Ausstrahlungen zu bilden, welche in ihrem weiteren Verlaufe sich wie die Wasser einer Fontäne rückwärts krümmen und sodann in den Schweif übergehen. Es kann daher wohl keinem Zweifel unterliegen, daß diese Ausstrahlungsprodukte die schweifbildenden Elemente des Kometen sind, wenngleich die Ausstrahlungen in der Regel erst beobachtet werden können, nachdem der Schweif schon längst sichtbar wurde. Die Umrisse von Körpern lassen sich eben leichter erkennen, als deren Strukturverhältnisse.

Die Form der Ausstrahlungen scheint nur aus perspektivischen Gründen die eines Fächers zu sein, in Wirklichkeit die eines Konus, dessen Achse in der Ebene der Kometenbahn gelegen ist und mit dem Radius Vektor in der Regel nahe zusammenfällt. Demgemäß besitzt der Schweif eines Kometen in seiner vollen Entwickelung die Gestalt eines hohlen Konoides, dessen leerer Innenraum sich durch den dunklen Kanal bemerkbar macht, den man in der Achsenrichtung des Schweifes wahrnehmen kann. Zuweilen beträgt aber der Winkel, den die Achse des Ausströmungskegels mit dem Radius Vektor bildet, viele Grade und ist überdies mit der Zeit veränderlich. In solchen Fällen wird der dunkle Kanal nur in der Nähe des Kernes deutlich erscheinen und auch nur auf eine kurze Strecke hin sich verfolgen lassen.

Das Phänomen der Ausströmungen zeigt, daß die Teilchen der schweifbildenden Materie vom Kometenkern abgestoßen werden, was in Beziehung auf die Bewegungsverhältnisse derselben darauf hinauskommt, als ob die Sonne auf diese Teilchen nicht mehr mit der allgemeinen Gravitation, sondern mit einer anderen modificierten Kraft und infolgedessen mit einer anderen Intensität einwirke.

Daß bei der Bildung der Kometenschweife Abstoßungskräfte thätig seien, vermutete man schon lange Zeit; in bestimmter Form ausgesprochen hat dies aber zuerst Bessel bei Gelegenheit seiner Beobachtungen des Halley'schen Kometen im Jahre 1835 (§ 146) und auch die Formeln entwickelt, nach welchen man unter einer bestimmten Annahme über die Intensität der abstoßenden Kraft die Gestalt des Schweifes berechnen kann. Ähnliche Untersuchungen wurden seit jener Zeit wiederholt, wie u. a. von Pape am großen Donati'schen Kometen (§ 160), aber stets nur vereinzelt vorgenommen; erst Bredechin gebührt das Verdienst, diese Untersuchungen systematisch auf eine große Anzahl dieser Himmelskörper ausgedehnt zu haben. Dabei gelangte er zu dem höchst bemerkenswerten Resultat, daß die Gestalten der Kometenschweife sich sämtlich auf drei typische Formen zurückführen lassen:

1. Schweife, bestehend aus Teilchen, welche von der Sonne eine wirkliche, sehr bedeutende Abstoßung erfahren, deren Intensität etwa die 12fache Intensität der allgemeinen Gravitation erreicht.

2. Schweife, bestehend aus Teilchen, auf welche die Sonne gar nicht wirkt, die also in Bezug auf dieselbe als imponderabel anzusehen sind und sich infolgedessen in einer ihrer Anfangsgeschwindigkeit entsprechenden Geraden bewegen.

3. Schweife, bestehend aus Teilchen, auf welche die Sonne noch anziehend wirkt, aber schwächer und zwar im Durchschnitte nur mit einem Drittel der gewöhnlichen Kraft.

Bredechin's Untersuchungen haben ferner ergeben, daß die Geschwindigkeit, mit welcher die Teilchen aus dem Kerne ausgestoßen werden, im engen Zusammenhange mit dem Typus des Kometenschweifes stehe, indem diese Geschwindigkeit für die eben genannten drei Typen der Reihe nach 4500, 900 und 300 m in der Sekunde beträgt.

Die Schweife des ersten Typus sind lang, schmal und fast geradlinig; die des dritten Typus sehr in die Breite ausgedehnt und verwaschen und lassen annehmen, daß sie aus mehreren Substanzen bestehen, die in chemischer Beziehung einander ähnlich sind. Bei substanzreichen Kometen kommen übrigens sehr häufig zusammengesetzte Schweife, gebildet aus Schweifen mehrerer, meistenteils sogar aller drei Typen vor. Bemerkenswert ist es dann, daß der Schweif vom 1. Typus ausnahmslos sich scharf von denen der übrigen Typen trennt.

In das weitere Detail der Untersuchungen von Bredechin, durch welche es ihm gelungen ist, eine Reihe früher rätselhafter Erscheinungen befriedigend zu erklären, können wir hier nicht näher eingehen und wollen nur noch beifügen, daß er den Unterschied in den Typen der Kometenschweife in einer Verschiedenheit der physikalisch-chemischen Eigenschaften der Schweifmaterie sucht. Nimmt man nämlich mit Zöllner an, daß die den verschiedenen Elementen zukommenden Repulsivkräfte ihren Atomgewichten umgekehrt proportional seien, so würden die Schweife des ersten Typus ausschließlich aus Wasserstoff bestehen; die des zweiten vorwiegend aus Kohlenstoff, zum Teil gemischt mit anderen Elementen, deren Atomgewicht kleiner als 30 ist; die des dritten Typus endlich würden sich aus Elementen zusammensetzen, deren Atomgewicht größer als 30 ist, also unter anderen aus den schweren Metallen, wie Eisen, Nickel u. s. f.

Das Auftreten von Repulsivkräften wird jedenfalls durch Veränderungen bedingt, welche die Wirkung der Sonne in der Materie des Kometenkernes hervorruft. Insofern hierbei uns überhaupt bekannte Kräfte und Aggregatformen in Betracht kommen, befinden sich wahrscheinlich die erzeugten Gebilde, welche gewöhnlich Ausströmungsprodukte genannt werden, in einem gasartigen Zustande, in den sie durch einen mit elektrischen Vorgängen verbundenen Prozeß übergeführt worden sein dürften. Die durch einen derartigen Prozeß ihnen mitgeteilte elektrische Ladung wäre sodann der Grund ihres eigentümlichen Verhaltens gegenüber der allgemeinen Gravitation. Etwas bestimmteres über die Natur der Kraft, welche diese Veränderungen bewirkt, und über die physikalische Beschaffenheit der hiervon betroffenen Materie läßt sich aber vorläufig nicht angeben, und

in den Annahmen darüber liegt auch im Grunde der Hauptunterschied der verschiedenen besseren Theorien über die Bildung der Kometen, wie sie Roche, Faye, Schiaparelli u. a. aufgestellt haben. Da aber keine dieser Theorien alle beobachteten Erscheinungen auch nur halbwegs befriedigend zu erklären vermag, wollen wir hier nur die eine derselben näher skizzieren, die am eingehendsten durchdacht und am weitesten ins Detail ausgearbeitet wurde: es ist dies die Theorie von Zöllner.

Zöllner hält die Kometen für aus flüssigen Meteormassen bestehende Gebilde, wie wir deren wahrscheinlich schon manche zur Erde fallen sahen, und sieht in der Licht- und Schweifentwickelung elektrische Prozesse, die durch Einwirkung der Sonne hervorgerufen werden. Die Verdampfungsfähigkeit muß nämlich als eine allgemeine Eigenschaft der Materie gelten; ist nun die Masse eines im Weltraume sich selbst überlassenen Körpers nicht ausreichend, um vermöge seiner Gravitation der ihn umgebenden Dampf-Atmosphäre eine Spannung zu erteilen, welche gleich dem Maximum der Spannkraft seiner Dämpfe für die herrschende Temperatur ist, so löst sich jener Körper mit der Zeit vollständig in eine Dampfmasse auf. Befindet sich eine derartige Masse an einer Stelle des Weltraumes, wo die Strahlung keines Fixsternes wesentlich überwiegt, so muß sie diejenige Temperatur annehmen, welche man als Temperatur des Weltraumes bezeichnet und die Pouillet zu -142° C. berechnet. Gelangt jedoch die betrachtete Masse durch die Attraktionswirkung eines größeren Fixsternes in die Nähe einer strahlenden Wärmequelle, so wird zunächst diejenige Seite erwärmt werden, welche der Strahlung ausgesetzt ist. Es werden daher vorzugsweise nur auf dieser, der Wärmequelle zugewandten Seite Verdampfungs- und Siedeprozesse stattfinden, indem die auf der entgegengesetzten Seite befindlichen Teile im Schatten des flüssigen Körpers liegen und daher nur indirekt, vermöge der durch Strömungen vermittelten Leitung, erwärmt werden können. Ist die ganze Flüssigkeitsmasse in Dampf verwandelt, so wird dieselbe beim Entfernen von der Wärmequelle und der dadurch bewirkten Temperaturerniedrigung entweder wieder einen flüssigen Kern erzeugen oder, wenn die Temperaturabnahme dazu nicht hinreichend war, langsam im Raume verschwinden. Gelangen demnach flüssige Meteormassen in die Nähe der Sonne, so werden sie sich als Körper darbieten müssen, die von einer Dunsthülle umgeben sind, welche sich auf der der Sonne zugewandten Seite fortdauernd entwickelt. Je kleiner diese Massen sind, in desto größerer Entfernung von der Sonne werden sie vollständig in Dampfkugeln verwandelt werden und infolge der Durchstrahlbarkeit der ganzen Masse keine wesentlichen Unterschiede auf der der Sonne zu- und abgewandten Seite zeigen, wie wir dies an den kleinen Kometen bemerken. Um nun auch die durch die Spektralanalyse bewiesene eigene Lichtentwickelung und die Bildung von Schweifen zu erklären, erinnert Zöllner zuerst daran, daß jener permanente Verdampfungs- und Siedeprozeß notwendig eine permanente elektrische Erregung erzeugen muß, die in dem mecha-

nischen Zerreißen der Flüssigkeitsteilchen eine sehr ergiebige Quelle findet. Das Spektrum des so erzeugten Lichtes wird dem des elektrischen Funkens gleichen, welcher durch dieselben Dämpfe geht, die sich auf dem Kometen entwickeln. Wenn nun dem Wasser und den flüssigen Kohlenwasserstoffen unter den kosmischen Flüssigkeiten aus bisherigen Erfahrungen eine hervorragende Rolle eingeräumt werden muß, so können die Spektren der Kometen vorzugsweise nur solche sein, welche den Dämpfen dieser Stoffe angehören, wie es in der That durch die Beobachtung bestätigt wird. Nimmt man ferner, was erlaubt scheint, für die Sonne eine ähnliche elektrische Atmosphäre an, wie die Erde sie besitzt, so bedarf es nur noch der Voraussetzung, daß die Elektricitäten der Sonne und der Kometen gleichnamig seien, um die Abstoßung der Dampfteilchen und dadurch die Entwickelung der Schweife nach einer im allgemeinen von der Sonne abgewandten Richtung zu begreifen. Änderte sich durch irgend welche Umstände das Vorzeichen der Elektricität der Kometendämpfe, so erhielte man einen der Sonne zugekehrten Schweif, wie er zuweilen sich zeigt. Zöllner weist nach, daß es vollkommen genügt, der Sonnenoberfläche nur diejenigen elektrischen Eigenschaften beizulegen, welche man durch direkte Beobachtung an der Erdoberfläche kennt, um die enormen Dimensionen der Schweife zu erklären. Zöllner's Theorie, der man seltenen Scharfsinn nicht absprechen kann, wird von ihrem Urheber bis in die einzelnen Phänomene, die wir an Kometen kennen (Krümmung des Schweifes, Vervielfältigung der Dunsthüllen, oscillierende Bewegung der Ausströmung u. s. w.), ausgeführt, worauf wir hier leider nicht weiter eingehen können, und verspricht jedenfalls, wenn auch bisher noch manches zu wünschen übrig bleibt, mehr Erfolg als irgend eine andere bisher auf diesem Gebiete vorgebrachte Hypothese. Zöllner versäumt übrigens nicht, darauf hinzuweisen, daß ähnliche Ideen schon früher von Kepler, Olbers, Bessel, Lamont u. a. geäußert wurden, in denen wir aber nur unentwickelte Keime der neuen Theorie finden können, die sich namentlich auch dadurch empfiehlt, daß sie auf der nicht weiter zu bezweifelnden Verwandtschaft der Meteoriten mit den Kometen fußt, einer Verwandtschaft, die durch A. W. Wright's Versuche über die in den Meteoriten enthaltenen Gase, deren Spektrum nahe identisch mit dem der Kometen ist, eine weitere Bestätigung erhielt.

Nachdem wir so das Wesentliche dessen mitgeteilt haben, was man bisher über die physische Beschaffenheit der Kometen erdacht hat, behalten wir uns vor, auf die eigentliche Heimat und Entstehung dieser Gestirne an anderer Stelle (§ 171) zurückzukommen.

§ 164. (Bedeutung und Einfluß der Kometen.) Aus historischem Interesse sei hier noch mancher Bedeutungen kurz Erwähnung gethan, welche den Kometen von unseren Vorfahren beigelegt wurden, wovon wir allerdings schon früher verschiedene Beispiele anzuführen Gelegenheit fanden. Fromond sah die großen Kometen, die zu jener Zeit erschienen, als Vorboten des Unterganges der Aristotelischen

Philosophie an, die damals, am Ende des 16. Jahrhunderts, bereits in ihren letzten Zügen lag. Licetus war der Ansicht, daß die Feuersäule, welche die Juden durch das Rote Meer führte, ein Komet gewesen sei, der dem israelitischen Volke als Fackelträger zugegeben wurde. Damascenus glaubt: cometas a Deo creari et moveri, quo libuerit, per angelos ad terrendos mortales, eine Meinung, welche Tannerus opinionem christiano philosopho perquam dignissimam nennt. Auf eine analoge Weise läßt der spanische Mönch Valderama die Kometen durch eigene böse Geister aus dem Höllenpfuhle herauftreiben, um dem sündigen Menschengeschlechte einen heilsamen Schrecken einzujagen u. dgl. mehr.

Die meisten Meinungen über die Bedeutung der Kometen vereinigen sich aber dahin, daß sie Unglückspropheten sind, und es scheint fast, als ob dieser Glaube so alt sei wie das Menschengeschlecht selbst. Wo immer Krieg, Krankheit, Erdbeben, Überschwemmungen u. dgl. stattfanden, da waren es auch die Kometen, welche die Schuld davon tragen mußten. Besonders stark in diesem Glauben waren aber die Römer. So versichert Cicero, der sich doch sonst so klug dünkte, ganz ernsthaft, daß alle Kometen Kriege und Bürgerzwiste bedeuten. Plinius zählt 12 Gattungen von Kometen auf, deren jede ihre besondere Eigenschaft hat: die mähnenförmigen sollen sehr geschwind laufen, die lanzenförmigen sehr blassen Ansehens sein, die Haarkometen am längsten sichtbar bleiben u. dgl. mehr. Alle jedoch nennt er terrifica et non leviter saeva sidera und meint, daß besonders die dreieckigen nicht viel taugen und sehr boshafter Natur seien. Seneca, der an einem andern Orte (Nat. Hist. Lib. VII, 13) so richtige und für seine Zeit in der That ganz unerwartete Ideen von ihnen mitteilt, erklärt doch nicht ohne eine seiner selbst unwürdige Wohldienerei, daß sie alle sehr tückische Wesen seien, da sogar derjenige, der laetissimo Neronis imperio erschien und unter einem so guten und vortrefflichen Fürsten nichts als Wohlthaten hätte bringen sollen, cum ne hic quidem Cometis veterem detraxerit infamiam. Noch bezeichnendere Stellen findet man in den römischen Dichtern Virgil, Claudian, Tibull u. a., die alle die Bosheit der Kometen nicht nachdrücklich genug beschreiben können. Wir müssen uns aber dennoch hüten, über jene fernen Zeiten ein allzustrenges Urteil zu fällen, sondern müssen uns vielmehr vergegenwärtigen, daß noch Milton, Newtons Zeitgenosse, in seinem „Verlorenen Paradies" vom Kometen von 1680 sang:

From its horrid hair
Shakes pestilence and war

und daß selbst unsere Zeit die althergebrachten Vorurteile von der Bedeutung dieser Himmelskörper noch nicht ganz zu zerstören vermochte.

Sehr allgemein ist ferner der Glaube verbreitet, daß die Kometen auf Krankheiten der Menschen und Tiere und selbst auf die der Pflanzenwelt einwirken. Darüber sollten eigentlich die Ärzte befragt werden, und hat auch in der That einer derselben, Forster, in seinem Werke: Illustration of the atmospherical

origin of epidemic diseases, Chilmsford 1829, es übernommen, den Zusammenhang zwischen Kometen und großen Epidemien nachzuweisen und schließt es mit folgenden Worten: „Es ist daher ganz gewiß, daß seit dem Anfange unserer Zeitrechnung die ungesundesten Zeiten auch immer zugleich die an Kometen reichsten gewesen sind, und daß die Erscheinungen dieser Himmelskörper stets von Erdbeben, vulkanischen Ausbrüchen und atmosphärischen Revolutionen begleitet waren, während man im Gegenteile in gesunden Zeiten nie einen größeren Kometen gesehen hat."

Und wie fängt Forster es an, diesen seinen Satz zu beweisen? — Er geht von Christi Geburt bis auf den heutigen Tag alle Jahre und alle Chroniken durch und bringt alle Leiden und Unfälle, welche in dieser langen Zeit das arme Menschengeschlecht betroffen haben, in eine endlose Liste. Auf dieselbe Weise spürt er auch den Kometen nach, die seit jener Epoche erschienen sind, und deren er gegen 500 zusammentreibt, die er alle neben den Krankheiten seines ersten Registers einträgt, wodurch denn endlich ein gar herrliches und für den geneigten Leser wahrhaft erbauliches Inventarium von Not und Elend und zugleich von Kometen entstanden ist, die an allen jenen Drangsalen schuld sein sollen.

Es scheint, daß ihm diese Arbeit nicht eben viel Nachdenken gemacht habe. Wie wir soeben gesehen, giebt es viele Kometen; Unglücksfälle aller Art aber, die das arme Menschenvolk heimsuchen, wohl noch viel mehr. Da es sonach am Himmel nicht an Kometen und auf Erden nicht an Not und Elend fehlt, so wird es um so weniger eine besondere Anstrengung erfordern, zu jeder Kalamität auch einen Kometen als Sündenbock aufzufinden, wenn man, wie Forster, nicht ohne Vorurteil und ohne vorgefaßte Meinung an sein Werk geht, sondern das, was man erst in unseren Geschichtsbüchern suchen soll, schon als fixe Idee in seinem eigenen Kopfe trägt. Was soll es uns frommen, wenn wir z. B. bei dem Jahre 1665 lesen: „Großer Komet und Pest in London." — Also wirklich eine Pest, aber warum nur in London? War der Komet nicht auch an anderen Orten der Erde ebenso gut, war er bloß in London sichtbar? Warum brachte derselbe Komet, der die Pest nach London führte, sie nicht auch nach Paris, Wien, ja nicht einmal nach Schottland oder Irland? Dann hatte also wohl jene Dame Recht, die, als sie hörte, daß man den damals in weiten Kreisen sehr gefürchteten Kometen „Biela" im nächstfolgenden Jahre 1832 (vgl. § 150) in Paris erwarte, entgegnete, daß sie das wenig kümmere, weil sie dieses Jahr nicht in Paris, sondern bei ihren Verwandten in Neapel zubringen werde. — Was sollen uns ferner folgende Zusammenstellungen: „Anno 1668 erschien ein Komet, und in Westfalen war großes Sterben unter den Katzen"; „anno . . . war ein Komet und ein großes Ungewitter in Thüringen, das mehrere Bauern auf der Wiese erschlug"; „anno . . . Komet und Aerolith in Schottland, welcher letztere eine Dorfkirche traf und das Räderwerk der Turmuhr beschädigte"; „anno . . . Komet und Klauenseuche des Hornviehes in Ostfriesland" u. s. w.

Wohl wäre es zu wünschen, diesen Gegenstand mit dem Ernste behandeln zu können, den die Wichtigkeit der Sache, den die Befreiung von jedem Vorurteile überhaupt verdient, wenn nicht eben jene sonderbare Bearbeitung desselben durch die Vorgänger einen ganz andern Ton gleichsam notwendig machte, und wenn es nicht, selbst unter den sogenannten gebildeten Ständen, noch gar so viele gäbe, die ohne weitere Überlegung derartigen Zusammenstellungen Beweiskraft zuzuschreiben geneigt sind.

Wenn aber diese Himmelskörper mit Kriegen, Überschwemmungen und Krankheiten nichts gemein haben, so könnten sie doch vielleicht auf unsere Witterung und dadurch auf die Temperatur und Fruchtbarkeit der Erde ihre Wirkungen äußern? Dieser Glaube ist in der That nicht minder allgemein als jener, aber, wie sorgfältige statistische Zusammenstellungen zeigen, ebenso unbegründet; es ist übrigens die Ansicht, daß diese Himmelskörper einen Einfluß auf irdische Erscheinungen und Vorkommnisse ausüben, überhaupt ganz und gar gegenstandslos geworden, seitdem kein Jahr mehr vergeht, in dem nicht mehrere teleskopische Kometen sichtbar werden.

§ 165. (Bewohner der Kometen.) Da wir, so weit unsere Erfahrungen reichen, alles in der Natur von lebenden Wesen bewohnt finden, so können wir nicht gut annehmen, daß die Kometen, diese großen Weltkörper, deren Anzahl, wie wir gesehen haben, wohl viele Tausende übertrifft, ganz ohne alle lebende Geschöpfe sein sollten. Da aber diese Kometen von allen andern Himmelskörpern in ihrem Äußern sowohl als auch wahrscheinlich in ihrer inneren Struktur so sehr verschieden sind, so wird ohne Zweifel der Unterschied derjenigen Wesen, welche sie bewohnen, von denen der Erde und der übrigen Planeten ebenfalls ganz außerordentlich sein. Allein welche Eigenschaften soll man ihnen nun beilegen?

Wer von uns könnte jene Extreme von Licht und Finsternis, von Hitze und Kälte ertragen, denen *sie* auf ihren weiten Bahnen ausgesetzt sind? Der Komet von 1680 kam, wie wir oben erwähnten, der Oberfläche der Sonne so nahe, daß die Hitze, welche von ihr auf ihn ausgestrahlt wurde, unsere höchste Sonnenhitze 26 000mal übertraf, und derselbe Komet war wieder zur Zeit seines Apheliums so weit von der Sonne entfernt, daß die in jenen Distanzen herrschende Kälte selbst unsere Atmosphäre in einen unserem Eise ähnlichen festen Körper verwandeln würde. Welche Organisation müssen jene Wesen haben, wenn sie diese Wechsel überdauern, wenn sie sich ihrer vielleicht sogar erfreuen können, so wie wir uns an der Abwechslung unserer Tages- und Jahreszeiten ergötzen? Doch vielleicht sind alle diese Extreme nur scheinbar, und die Natur, der ein unerschöpflicher Reichtum von Mitteln zu Gebote steht, ihre Zwecke zu erreichen, wird auch dort Wege gefunden haben, diese Hindernisse zu besiegen oder ihnen in dem Bau und der Einrichtung ihrer Geschöpfe entgenzuarbeiten.

Kapitel XIV.

Sternschnuppen.

§ 166. (Scheinbare Größe, Dauer, Farbe ꝛc. der Sternschnuppen.) Zu den auffallendsten Erscheinungen, welche den Beschauer des nächtlichen Himmels fesseln, gehören unstreitig die sogenannten Sternschnuppen. Die Häufigkeit des Phänomens, sowie das immer wieder überraschende Schauspiel, als breche plötzlich ein Stern aus der Schar der übrigen hervor und schieße mit großer Geschwindigkeit am Firmamente dahin, um nach wenigen Augenblicken wieder zu verschwinden, haben von jeher die Aufmerksamkeit auf diese Erscheinung gelenkt. Es darf uns daher nicht befremden, daß wir dieses schöne Phänomen bereits in den ältesten Dichtungen und Sagen erwähnt finden. So wird beispielsweise schon in der Iliade (IV. 74) die Schnelligkeit, mit welcher die Götter aus ihren himmlischen Höhen auf die Erde niedersteigen, mit der einer Sternschnuppe verglichen. Ebenso vereinigt nicht minder poetisch als schön der nordische Mythus das Geschick des Menschen mit den fallenden Sternen. Werpeja, die Spinnerin, beginnt den Schicksalsfaden des neugeborenen Kindes am Himmel zu spinnen, und jeder Faden endet in einen Stern. Naht nun der Tod des Menschen, so reißt sein Faden, und erbleichend fällt sein Stern zur Erde nieder.

Die scheinbare Größe oder, richtiger gesagt, die Helligkeit der Sternschnuppen ist sehr verschieden. Von den kleinsten, mit freiem Auge eben noch sichtbaren findet man durch jede Größenabstufung heller werdende, bis sie nicht nur Jupiter und Venus, die schönsten Gestirne des Firmamentes, an Glanz überstrahlen, sondern sogar bisweilen eine Leuchtkraft entwickeln, vor der die Sterne erbleichen. Doch pflegt man nur die kleineren Erscheinungen dieser Art „Sternschnuppen" oder „Meteore" zu nennen und nach Sterngrößen von der 6. bis zur 1. zu ordnen, während man die helleren Sternschnuppen, von Jupiter- oder Venusgröße angefangen, mit dem Namen „Feuerkugeln" oder „Boliden" auszeichnet. Übrigens sind die mit freiem Auge eben noch sichtbaren Sternschnuppen keineswegs die kleinsten, die es giebt. Man bemerkt im Fernrohre häufig auch solche, welche in der Helligkeit eines Sternes 9. bis 10. Größe oder auch eines noch kleineren das Gesichtsfeld durchfliegen.

Die Bahn der Sternschnuppen stellt sich in der Regel als Stück eines größten Kreises dar, was darauf hinweist, daß das von uns gesehene Bahnstück von einer geraden Linie nicht merklich abweicht. Indessen besitzen die Bahnen öfters ziemlich auffällige, zuweilen sogar starke Krümmungen; ebenso kommen hin und wieder auch wellen- oder schlangenartige Bewegungen vor. Alle diese und ähnliche Erscheinungen sind leicht erklärlich, wenn man bedenkt, daß sich die Sternschnuppen in unserer Atmosphäre, also in einem widerstehenden Mittel bewegen, und wenn man die an und für sich sehr wahrscheinliche Annahme macht, daß sie nicht immer genau sphärische Körper seien; denn dann müssen sie

bei ihrer Bewegung in unserem Luftkreise unter Umständen alle jene sonderbaren Kurven beschreiben, welche uns beim Bumerang, den Projektilen gezogener Geschütze u. s. w. auffallen.

Die Dauer der Sichtbarkeit der Sternschnuppen ist stets eine sehr geringe, indem sie meistens bloß Bruchteile einer Sekunde beträgt und 3^s bis 4^s nur ganz ausnahmsweise erreicht oder gar übersteigt. Indessen ist mit dem Verschwinden der eigentlichen Sternschnuppe oder Feuerkugel das Phänomen häufig noch nicht abgeschlossen; es lassen nämlich die helleren Gebilde dieser Art nicht selten eine feurige Spur in Gestalt eines Schweifes zurück, der im allgemeinen wohl bereits wenige Sekunden nach den Meteoren verschwindet, hin und wieder aber auch 1^m bis 2^m, ja sogar Viertel- bis halbe Stunden lang sichtbar bleibt. Ein auffallendes Beispiel dieser Art bot die Feuerkugel vom 17. Juni 1873 dar. Sie leuchtete um $8^h\ 44^m$ Wiener Zeit in Ungarn südlich von Raab 160 km über der Erdoberfläche auf, durchflog, über Niederösterreich, Mähren und Böhmen hinwegziehend, eine Strecke von 460 km innerhalb 4^s bis 5^s und erlosch in der Gegend von Zittau und Herrnhut in einer Höhe von 33 km. Der blendend weiße zickzackförmige Schweif dieses keineswegs überaus großen Meteores — es hatte nur etwas über Venusgröße — blieb aber in seinen unteren Partien bis $9^1/_4{}^h$ dem freien Auge sichtbar.

Die Schweife der Sternschnuppen zeigen zuweilen höchst interessante Phänomene. An Farbe gleichen sie in der Regel, aber nicht immer dem Meteore, dem sie ihre Entstehung verdanken. Ihre Formen sind höchst mannigfach, die Ränder meist scharf begrenzt, und der Eindruck, den sie hervorrufen, manchmal derart, als ob sie hohle Zylinder bildeten, die nach innen da, wo die Feuerkugel durchgegangen ist, von leuchtender Materie leer sind. Die Helligkeit der Schweife nimmt gewöhnlich bis zu ihrem Verschwinden allmählich ab; aber es kommt auch vor, daß einzelne ihrer Partien zeitweilig wieder heller aufleuchten. Bleiben dieselben längere Zeit sichtbar, so krümmen sie sich und führen zuweilen noch andere, mit überraschenden Formänderungen verbundene Bewegungen aus, bei denen die ganze Masse nicht selten zerreißt und dann vereinzelte lichte Flecke bildet, die eine große Ähnlichkeit mit einem der helleren Nebelflecke besitzen. Diesen rätselhaften, bisher wenig beachteten Bildungen hat namentlich der Direktor der Athener Sternwarte J. F. Schmidt eine besondere Aufmerksamkeit zugewendet und auch mehrfach mit Glück versucht, sie, nachdem sie dem freien Auge bereits entschwunden waren, noch mit einem lichtstarken Fernrohre von großem Gesichtsfelde (Kometensucher oder Opernglas) weiter zu verfolgen. Seinen Erfahrungen zufolge kann man annehmen, daß ein Schweif, welcher dem freien Auge etwa 5^s bis 10^s sichtbar bleibt, in einem Kometensucher 2^m bis 3^m lang gesehen werden kann.

Von den Meteoren erster Größe und den noch helleren hinterläßt in unsern Gegenden etwa die Hälfte, von denen zweiter aber nur noch ein Sechstel und

von den kleineren ein noch geringerer Bruchteil Schweife. Dies scheint darauf hinzudeuten, daß die meisten, wenn nicht alle Feuermeteore Schweife nach sich ziehen, die uns aber wegen ihrer Lichtschwäche häufig entgehen. Dieser Schluß wird auch dadurch gestützt, daß Humboldt in der durchsichtigen Atmosphäre der Tropengegenden die Meteore häufiger von langen, glänzenden Lichtbahnen begleitet sah, als dies bei uns der Fall ist.

Die Farbe der Sternschnuppen ist in überwiegend großer Mehrzahl weiß oder gelb, seltener gelbrot; aber bei den helleren Sternschnuppen und besonders den Boliden zeigen sich auch mitunter andere Färbungen, und so namentlich intensiv grüne. Nach mehrjährigen Aufzeichnungen von J. F. Schmidt kommen nämlich auf je 100 Meteore im Durchschnitte 62 weiße, 15 gelbe, 6 gelbrote, 3 grüne und 14 neblige. Die letztgenannte Kategorie von Sternschnuppen hat J. F. Schmidt zuerst beobachtet; es sind lichtschwache Phänomene, deren Helligkeit die von Sternen dritter Größe kaum je erreicht, die aber einen bedeutenden Durchmesser und stets ein aschfarbiges nebelhaftes Ansehen besitzen, sodaß sie oft einer kleinen, schnell hinfliegenden Nebelwolke gleichen.

Diese Sternschnuppen dürften den Übergang bilden zu jenen merkwürdigen Mittelgliedern zwischen Kometen und Meteoren, auf die erst seit neuerer Zeit Schiaparelli die Aufmerksamkeit gelenkt hat. Es sind dies nebelartige Körper oft von sehr bedeutender Ausdehnung, welche innerhalb mehrerer Minuten mit größerer oder geringerer Geschwindigkeit am Firmamente hinziehen und dann allmählich wieder bis zum Unsichtbarwerden abblassen. Schiaparelli hat mehrere ähnliche Erscheinungen aus den Jahren 1252, 1348, 1672 ꝛc. zusammengestellt; allein es sind auch aus der neueren Zeit mehrfache Fälle dieser Art bekannt. Die interessantesten derartigen Phänomene waren aber wohl das, welches Jahn am 3. Juli 1845 beobachtet hat und das, welches am 17. November 1882 über Holland und England hinwegzog.

§ 167. (Aërolithenfälle.) Während ihres Laufes ändern die Sternschnuppen meistenteils ihre Helligkeit nicht und verschwinden wieder ebenso plötzlich, wie sie erschienen waren. Nur größere Meteore, insbesondere die Feuerkugeln ersten Ranges, verlöschen manchmal unter Funkensprühen oder zerplatzen auch, worauf man dann zuweilen einzelne matter leuchtende Stücke der Erde zufallen sieht und einige Minuten nachher ein mehr oder minder starkes, ja sogar betäubendes Getöse vernimmt. Solche „detonierende" Meteore sind es auch, welche gelegentlich zu den so merkwürdigen Aërolithen- oder Steinfällen Veranlassung geben.

Die Schallerscheinungen, welche einen Aërolithenfall begleiten, werden gewöhnlich folgendermaßen beschrieben. Man hört zuerst einige heftige, scharfe Schläge, welche dem Donner von Kanonen ähneln. Zwischen ihnen und nachher wird ein schwächeres Getöse vernommen, das bald Trommelwirbeln, bald einem Pelotonfeuer, bald dem Rasseln eines schwer beladenen Wagens verglichen wird. Die Dauer desselben ist sehr verschieden und kann auf mehrere Minuten an-

steigen; ja bei einigen Steinfällen wird sogar von stundenlanger Dauer geredet, während man häufig auch bloß einen einzigen Knall hörte. Nach den Detonationen vernimmt man in der Luft ein Sausen und Zischen, während dessen die Steine auf die Erde herabfallen.

Die heftigsten Detonationen rühren vom Zerplatzen des Meteores und dem Eindringen der Luft in das so entstehende Vakuum her; das schwächere Rollen hingegen wird durch das Zusammenschlagen der Luft in den vom Meteore verlassenen Raum bewirkt. Weil aber das Meteor rascher forteilt als der Schall, kommt derselbe (wie beim Donner) von den entfernteren Teilen der Bahn erst nach und nach zu uns, was die lange Dauer des Getöses verursacht. Übrigens muß die Stärke der Hauptdetonationen zuweilen wahrhaft grausenerregend sein. So z. B. hörte man bei dem Steinfalle zu l'Aigle die Detonationen auf einem Umkreise, dessen Radius 150 km betrug; in l'Aigle selbst, dem Orte, über dem beiläufig die Explosion erfolgte, erzitterte der Boden wie bei einem Erdbeben, und Kamine, ja Häuser stürzten ein.

Die vom Himmel herabgefallenen Massen teilt man nach dem Gehalte derselben an gediegenem Eisen in Meteorsteine und Meteoreisen ein. Den ersteren liegt fast immer als Totalform eine ungleichseitige vierkantige Pyramide zu Grunde, deren Spitze abgestumpft ist. Die Grundfläche, welche bei der Bewegung im Raume vorangeht, ist meist gleichmäßig gewölbt und mit einer glasartig glänzenden, papierdünnen, dunkelbraunen bis pechschwarzen Rinde umgeben, auf deren Oberfläche sich netzartige, strahlenförmig von einem Punkte ausgehende erhabene Adern zeigen. An den Seitenflächen und insbesondere an jener Fläche, welche der Grundfläche gegenüberliegt, ist die Rinde bloß mattglänzend, oft auch sammetartig.

Die Rinde ist eben die geschmolzene Oberfläche des Meteorsteines, wie zuerst v. Schreibers und Scheerer durch Schmelzen von Stannernsteinen nachwiesen. Doch muß das Schmelzen, wie bereits Proust vermutet hatte, so rasch vorgenommen werden, daß das Innere dabei nicht beträchtlich erhitzt wird, weil sonst die ganze Masse zu einem dunkelbraunen Glase zusammenfließt. Daß das erstere in der Natur auch wirklich eintritt, beurkundete der interessante Steinfall vom 27. Dezember 1857 bei Quenggouk (Ostindien), indem unmittelbar nach dem Falle die Bruchstücke im Innern so kalt waren, daß sie die Finger des Gefühles beraubten.

In mineralogischer und chemischer Beziehung sind die Steine verschiedener Lokalitäten, namentlich in Bezug auf Gehalt an Eisen sehr von einander verschieden. Es sei daher nur erwähnt, daß in ihnen ein neuer, auf der Erde nicht vorkommender Grundstoff noch nicht aufgefunden wurde, daß die vorherrschenden Bestandteile binäre Verbindungen des Sauerstoffes, nämlich Kieselerde und Talkerde, sodann Eisen bilden, und zwar letzteres sowohl im reguliniſchen Zustande als auch in seinen verschiedenen Oxydationsstufen, und daß das metallische Eisen

merkwürdigerweise stets von Nickel begleitet ist. Interessant ist es auch, daß man in neuerer Zeit einige Meteorsteine mit großem Kohlengehalte gefunden hat, und daß in diesen eine organische Substanz vorkommen soll, die indes noch nicht genauer erforscht werden konnte. Derartige Meteorsteine, wie der vom Kap (gefallen am 13. Oktober 1838) und der von Debreczin (gefallen am 15. April 1857) unterscheiden sich auch schon durch ihre dunkle Farbe von den übrigen.

Weit seltener als Meteorsteinfälle ereignen sich Meteoreisenfälle. Doch hat man in der neueren Zeit sehr merkwürdige Bindeglieder zwischen Stein- und Eisenmeteoriten aufgefunden, nämlich eisenreiche Meteorsteine mit großen Konkretionen von metallischem Eisen und Meteoreisen, in denen große Massen von Steinsubstanz eingewachsen sind.

Die Eisenmeteoriten sind meist derb und von krystallinischem Gefüge, selten ästig oder zellig. Im letzteren Falle sind die Hohlräume mit deutlich krystallisiertem Olivin (Meteorolivin) ausgefüllt. Die derben Eisenmeteoriten (so wie bei den zelligen das Eisengerüste) bestehen fast ausschließlich aus Eisen und Nickel, indem diese beiden Stoffe nicht selten bis 98% der ganzen Masse betragen, wobei das letztgenannte Metall mit einem Teile des Eisens zu Nickeleisen verbunden ist, welche beiden Bestandteile sich bei der Bildung des Meteoreisens in regelmäßig alternierenden Lamellen ablagerten. Da nun Eisen und Nickeleisen sich verschieden gegen chemische Agentien verhalten, wird, wenn man solche auf eine polierte Meteoreisenplatte einwirken läßt, deren regelmäßige Struktur in eigentümlichen Figuren sichtbar, die man ihrem Entdecker zu Ehren Widmannstätten'sche genannt hat. Durch diese Figuren und den Gehalt an Nickel unterscheidet sich das Meteoreisen von jedem anderen tellurischen, gediegenen Eisen. Man nimmt daher auch keinen Anstand, Eisenmassen, die sich auf verschiedenen Punkten der Erde vorfinden, als Meteoreisen zu betrachten, wenn sie in die geologische Formation jener Gegenden nicht passen und sich mindestens durch eine der beiden erwähnten charakteristischen Eigentümlichkeiten auszeichnen, auch wenn man deren Niederfallen nicht beobachtet hat. Solche Massen sind mitunter sehr bedeutend, wie die von Tucuman (Argent. Republik, aufgefunden 1783) von mehr als 1500 kg Gewicht, die von Bemdego (Brasilien, bekannt seit 1784) von etwa 8700 kg Gewicht u. s. w.; auch das schon erwähnte Pallaseisen soll ursprünglich gegen 800 kg gewogen haben.

Die Zahl der jährlich herabfallenden Aërolithen ist keineswegs so klein, als man nach der Seltenheit des Phänomenes an einem bestimmten Orte zu schließen geneigt sein dürfte. Als Durchschnitt der letzten Jahre kann man nämlich annehmen, daß jährlich drei Meteoritenfälle beobachtet werden. Bedenkt man nun, daß der größte Teil der Erde von Wasser bedeckt ist, daß wir nur aus kultivierten Ländern Nachrichten von derartigen Begebenheiten erhalten, und daß selbst in diesen ein großer Teil der Fälle unbeobachtet bleibt oder die Meteormassen in

unzugänglichen Gegenden niederstürzen, wo sie nicht aufgefunden werden können, so wird man es wohl nicht übertrieben finden, auf der ganzen Erde jährlich einige hundert Steinfälle anzunehmen.

Bei einem Aërolithenfalle ist die Zahl der herabstürzenden Stücke sehr verschieden, oft sehr gering (1 bis 2), oft aber auch sehr groß, wie bei Stannern und l'Aigle; am ersteren Orte schätzte man sie auf 150—200, am letzteren sogar auf 2000—3000. Bei solchen größeren Steinfällen, die man auch als Steinregen bezeichnet, sind die Steine gewöhnlich über einen elliptischen Raum zerstreut, dessen längere Achse in der Richtung der Bewegung des Meteors liegt, zum Zeichen, daß die Steine erst nach und nach während seines Fortschreitens herabfallen. Dabei machte man außerdem die interessante Bemerkung, daß die kleineren Steine zuerst, die größeren zuletzt herabkommen, was besonders schön der Steinregen vom 1. Mai 1860 zu New Concord (Ohio) zeigte. Dieselben Beobachtungen hat man auch am 30. Januar 1868 beim Steinregen zu Pultusk (Polen) gemacht und dabei noch wahrgenommen, daß die herabgefallenen Steine nirgends die gefrorene Erdschicht durchschlugen oder irgendwie tiefer in dieselbe eindrangen. Dies beweist unzweifelhaft, daß das Meteor bereits in den höheren Schichten unserer Atmosphäre seine kosmische Geschwindigkeit eingebüßt hatte, und daß die einzelnen Teile desselben schließlich bloß mit jener Geschwindigkeit auf die Erde herabkamen, welche sie nach den Gesetzen der Schwere beim Herabfallen erlangten. Der Erste, der auf dieses eigentümliche Verhältnis aufmerksam machte, war Haidinger, der es bereits aus den Nachrichten über den Meteoritenfall zu Hradschina erkannte und hierauf bei einer Reihe von Aërolithenfällen unter anderem eben darin bestätigt fand, daß die gefallenen Massen äußerst selten tief in den Boden einschlugen. Seinen Argumenten könnte man noch beifügen, daß die Meteormassen beim Niederfallen weit öfter in Stücke springen müßten, als dies in der That der Fall ist, wenn sie mit einer planetarischen Geschwindigkeit auf der Erde ankämen. Haidinger verlegt den Ort, an dem die kosmische Geschwindigkeit vernichtet ist, an den Ort der Hauptdetonation, nennt diesen demgemäß Hemmungspunkt und läßt von da an die einzelnen Stücke, einfach den Fallgesetzen folgend, senkrecht auf die Erde herabfallen; eine Annahme, die sich beim Steinregen von Pultusk vollständig bestätigt hat. In neuerer Zeit hat Schiaparelli auch den theoretischen Grund dieses Verhaltens aufgedeckt, indem er nachwies, daß ein Meteor bereits in den höchsten, noch ungemein dünnen Schichten unserer Atmosphäre den größten Geschwindigkeitsverlust erleidet, und daß schon in verhältnismäßig sehr bedeutenden Höhen seine kosmische Geschwindigkeit so gut wie völlig vernichtet wird. Zu demselben Resultate gelangte gleichzeitig mit Schiaparelli auch der Herausgeber; der letztere machte aber überdies noch darauf aufmerksam, daß unter diesen Umständen bei den schnelleren Meteoren der Geschwindigkeitsverlust viel rascher eintritt und auch bereits in größeren Höhen erfolgt als bei den langsameren. Da nun die lebendige Kraft der Bewegung nicht vernichtet

wird, sondern sich der Hauptsache nach in Licht und Wärme umsetzt, wird es nicht nur begreiflich, warum die Lichterscheinungen der Feuerkugeln und Sternschnuppen überhaupt schon in den höchsten Regionen unserer Atmosphäre sich abspielen, sondern es findet darin auch die früher rätselhafte Erscheinung ihre einfache Erklärung, daß nach den Höhenberechnungen von Sternschnuppen die hell leuchtenden Meteore in der Regel nicht die der Erde näheren, sondern gerade die entfernteren sind.

Bei den Detonationen findet manchmal sicher ein wirkliches Zerspringen der Meteormasse statt, wie unwiderlegbar daraus hervorgeht, daß beim Steinfalle von Quenggouk zwei Stücke, die etwa 1500 m von einander entfernt aufgefunden wurden, vollständig zusammenpaßten und an der Bruchfläche nur geringe Spuren von Überrindung zeigten. Dasselbe fand auch beim Steinfalle vom 12. Mai 1861 zu Butsura (Ostindien) statt, wo sogar drei Stücke, die in gegenseitigen Entfernungen von 3 bis 4 km lagen, vollkommen aneinander paßten. Man würde indes sehr irren, wollte man daraus folgern, daß alle bei einem größeren Steinregen herabfallenden Stücke bloß Bruchstücke eines einzigen, in unsere Atmosphäre eingedrungenen Körpers seien; man muß im Gegenteile aus der Form der Steine und dem Charakter der Überrindung schließen, daß in solchen Fällen bereits ein ganzer Schwarm Meteoriten in unseren Luftkreis eintritt. Diesen Schluß bestätigte auch eine Beobachtung von Dir. J. F. Schmidt zu Athen, welche einzig in ihrer Art dasteht. Sie gelang am 19. Oktober 1863 an einer Feuerkugel ersten Ranges, welche sich durch einen ungewöhnlich langsamen Flug und eine ebenso außergewöhnlich lange Dauer von 21^s auszeichnete, sodaß Schmidt Zeit gewann, einen Kometensucher auf sie zu richten und sie so durch volle 14^s zu verfolgen. Teleskopisch betrachtet, bestand sie aus zwei strahlend grünen Stücken von tropfenförmiger Gestalt, die scharfbegrenzte, feuerrote und ganz gerade, unter sich parallele Schweiflinien hinter sich herzogen, deren Abstand 7′ betrug. Das größte Stück des Meteores ging südlich voran; etliche Bogenminuten weiter zurück folgte nördlich das kleinere. Dann aber zog dahinter her ein Schwarm grünstrahlender Fragmente, sehr verschiedener Größe, deren jedes eine rote Feuerlinie mit sich führte. Alle diese Linien waren gerade und unter sich parallel. Das smaragdgrüne Licht der Kerne verlief durch Hochgelb in das Feuerrot der Schweife. Den Durchmesser des größten Kernes schätzt Schmidt nach Abzug der Irradiation auf 25″ bis 30″ und ist geneigt, diese Angabe eher noch für zu groß als für zu klein anzusehen.

Diese interessante Beobachtung bringt auch Licht in eine andere Frage, welche schon zu vielfachen Kontroversen geführt hat. Mit freiem Auge gesehen, erreichen scheinbar die Feuermeteore ersten Ranges zuweilen den Durchmesser des Mondes, und auch J. F. Schmidt schätzte den Durchmesser des eben besprochenen Meteores noch lange, ehe es seinen Hauptglanz entfaltet hatte, mit freiem Auge auf mindestens 10′ bis 15′. Mit Zugrundelegung solcher Dimensionen und den

Entfernungen, wo sie sich ermitteln ließen, erhielt man für den wahren Durchmesser riesige Zahlen, mitunter von mehreren tausend Metern. Vergleicht man hingegen damit die herabgefallenen Massen, so stehen diese in gar keinem Verhältnis zur scheinbaren Größe des Meteores. Die Beobachtung von Schmidt löst nun diesen Widerspruch auf eine sehr einfache Weise, indem sie zeigt, daß man beim Schätzen der Größe eines Meteores mit freiem Auge einen doppelten Irrtum begeht, daß man nämlich nicht nur die einzelnen, durch weite Zwischenräume getrennten Meteorpartikel als ein großes solides Ganze auffaßt, sondern daß überdies alle Dimensionen durch die Irradiation noch vielfach vergrößert erscheinen.

Die Nachrichten über Aërolithenfälle reichen bis in das graue Altertum zurück, wo derlei Begebenheiten mit den religiösen Anschauungen der ältesten Kulturvölker leicht in Zusammenhang gebracht werden konnten. Uralt war im Oriente die Verehrung des Feuers und die Personifikation dieser gewaltigen Naturkraft in den Gestirnen, welche man für Feuermassen hielt, die von mächtigen Geistern beseelt seien. Da man aber von der Entfernung und Größe der Gestirne keine Ahnung hatte, bot auch die Idee, sie könnten vom Gewölbe des Himmels auf die Erde herabstürzen, nichts Ungereimtes, und man nahm deshalb auch keinen Anstand, Feuerkugeln für herabfallende Sterne, und die den Erdboden glühend heiß erreichenden Steine, die man manmal am Orte des Niederfallens fand, für die herabgefallenen Sterne selbst zu halten, die auch in ihrem jetzigen Zustande nicht minder beseelt seien als in dem früheren. Man nannte sie deshalb auch Bätylen, d. h. beseelte Steine, und verehrte die größeren, die man von mächtigeren Geistern als die kleineren belebt glaubte, als Heiligtümer in Tempeln. Die bekanntesten Steine dieser Art sind das Ancile der Römer, das zur Zeit des Numa Pompilius vom Himmel herabgefallen sein soll und von dem die sibyllinischen Bücher verkündeten, daß sein Verlust der Vorbote des Unterganges von Rom sein werde; ferner der schwarze Stein in der Kaaba zu Mekka u. s. w.

In Kleinasien und Griechenland verwechselte man die das Herabfallen von Steinen begleitenden Licht- und Schallerscheinungen mit wirklichem Blitz und Donner und glaubte, die Götter schicken bei Gewittern ihre Symbole in Gestalt solcher Steine den Menschen zur Verehrung auf die Erde herab, weshalb man sie auch als Keraunia oder Brontia, d. h. Donnersteine bezeichnete und nach jedem Blitzschlage solche aufsuchte. Übrigens ist im Volke der Glaube an Donnersteine auch heute noch nicht ganz erloschen.

In Arabien wurden aus Meteoreisen Degenklingen verfertigt, welche man, wegen der wunderbaren Eigenschaften, die sie auszeichnen sollten, sehr hoch schätzte. Man schrieb ihnen unter anderem die Macht zu, dem Besitzer Unverwundbarkeit und Sieg über seine Gegner zu verleihen. In Zentralasien erhielt sich die Sitte, Meteoreisen entweder rein oder mit tellurischem gemischt zu Waffen auszuschmieden, noch bis zum Beginn der neueren Zeit. So ließ sich der Mongolenkaiser Dschehangir aus einem am 17. April 1621 bei Lahore in Indien gefallenen Meteor-

eisen zwei Säbel, einen Dolch und ein Messer verfertigen. In unseren Tagen fand der Polarfahrer J. Roß unter den Eskimos der Baffinsbai Messer und Äxte aus Meteoreisen in Verwendung.

Allein nicht nur im Morgenlande, auch im Abendlande wurde bereits im Altertume das Herabfallen von Steinen als eine feststehende Thatsache anerkannt, von der die Historiographen zahlreiche Beispiele erwähnen. Doch hier verlor sich die freundliche Auffassung, mit der man im Oriente diese Naturerscheinung umgeben hatte, sehr rasch; der Schrecken, den ein so ungewöhnliches Phänomen hervorrufen mußte, trat bald so sehr in den Vordergrund, daß man es nicht mehr als ein Zeichen des Wohlwollens, sondern vielmehr als eines des Zornes der Gottheit ansah. So erwähnten schon Livius, noch mehr aber Tacitus unter den Vorzeichen für Unglück fast stets eines Steinregens, und die darauf folgende Zeit der Völkerwanderung war nicht geeignet, die düstere Anschauung, die sich einmal festgesetzt hatte, zu entwurzeln. Als dann am Ende des Mittelalters die Osmanen anfingen, furchtbar zu werden, benützte man Niederfälle von Steinen, die Christenheit zum Kampfe gegen ihren Erbfeind zu entflammen. Dies geschah z. B., als am 7. November 1492 gegen Mittag bei Ensisheim im Oberelsaß ein ungefähr 150 kg schwerer Stein niederfiel, von dem durch die Fürsorge Kaiser Maximilian's I. noch jetzt Bruchstücke erhalten sind, die ältesten, die wir überhaupt von einem historisch beglaubigten Steinfalle besitzen.

Trotz so vieler Nachrichten befestigte sich aber merkwürdigerweise unter den Physikern im Laufe des vorigen Jahrhunderts immer mehr die Meinung, alle derartigen Berichte seien weiter nichts als die Ausgeburt einer krankhaften Phantasie, und es könne ihnen unmöglich wahres zu Grunde liegen, weil das Herabfallen von Steinen aus der Luft anerkannten Naturgesetzen widerstreite. Wohl mögen die Entstellungen und Übertreibungen in den meisten Berichten von Augenzeugen, die, durch den ausgestandenen Schrecken verwirrt und betäubt, alles mögliche gesehen haben wollten, den ersten Grund zum Leugnen dieses Phänomens gegeben haben; allein man legte dabei doch eine Verblendung und einen Eigendünkel an den Tag, die geradezu unbegreiflich sind, indem man der vorgefaßten Meinung zuliebe alle, selbst die beglaubigtsten Zeugnisse, ohne sie auch nur einer Prüfung zu würdigen, geradezu für Lügenberichte oder Sinnestäuschungen erklärte, wie dies beispielsweise mit der Urkunde der Fall war, welche das bischöfliche Konsistorium zu Agram über den Fall zweier Meteoreisenmassen zu Hraschina am 26. Mai 1751 um 6 Uhr abends aufnehmen ließ: nebenbei gesagt, die erste urkundliche Beglaubigung eines Aërolithenfalles. Ja selbst noch im Jahre 1790 fand man es sehr erheiternd, daß man über eine solche Absurdität ein authentisches Protokoll erhalten könne, als die Municipalität von Juillac in der Gascogne eine mit der Unterschrift von mehr als 300 Augenzeugen versehene Urkunde über den Steinfall, der sich dort am 24. Juli abends nach 9 Uhr er-

eignet hatte, der Pariser Akademie einsendete, und konnte Bertholon nicht umhin, eine Gemeinde zu bemitleiden, die einen so thörichten Maire besitze, daß er solche Märchen glaube.

Unter diesen Umständen ist das Verdienst Chladni's nicht gering anzuschlagen, der im Jahre 1794 bei Gelegenheit der Auffindung einer großen Masse gediegenen Eisens bei Krasnojarsk in Sibirien durch Pallas, welche die Kosaken für ein vom Himmel herabgefallenes Heiligtum hielten, den Mut hatte, in einer eigenen Schrift: „Über den Ursprung der von Pallas entdeckten Eisenmasse und einige damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen" für das wirkliche Vorkommen von Aërolithenfällen einzutreten. In dieser für die Fortentwickelung unserer Kenntnisse der Feuermeteore epochemachenden Abhandlung stellte er nicht nur den Satz auf, daß Steinfälle sich in der That schon öfter ereignet haben, sondern weist auch nach, daß die auf die Erde herabgefallenen Massen nur kosmisch sein könnten, d. h. Ankömmlinge aus dem Weltraume, welche vorher der Erde und deren Atmosphäre fremd waren. Den letzteren Satz erweiterte er in seinen späteren Schriften noch dahin, daß diese Massen Haufen von Urmaterie gewesen sein dürften, die vor ihrer Ankunft noch keinem größeren Weltkörper zugehört hatten und von kometenartiger Beschaffenheit zu sein scheinen. Als nun noch im Jahre 1794 am 16. Juni ein Steinfall zu Siena, im folgenden Jahre einer am 13. Dezember bei Woldcottage (Yorkshire) sich ereignete, traten die Deutschen und Engländer schnell nacheinander auf die Seite von Chladni. In Frankreich und der Schweiz hingegen dauerte der Unglaube noch lange fort, bis der Bericht von Biot über den Steinfall zu l'Aigle (16. April 1803) allgemeiner bekannt wurde, zu dessen Untersuchung er von der Akademie zu Paris, allerdings erst nach zweimonatlichem Zögern, an den Ort selbst geschickt wurde. Der bestuntersuchte Steinfall aus älterer Zeit ist aber jener, welcher sich einige Jahre später (1808 den 22. Mai) bei Stannern in Mähren ereignete, weil gleich auf die erste Kunde dieses Vorfalles der damalige Vorsteher des k. k. Mineralienkabinetts v. Schreibers mit seinem Freunde v. Widmannstätten dorthin gesendet wurden, den Thatbestand zu ermitteln und alle Umstände des Phänomens aufs sorgsamste zu erforschen.

§ 168. (Höhe, Masse, periodische Veränderlichkeit in der Häufigkeit der Meteore.) Die ersten Höhenbestimmungen von Feuermeteoren rühren zwar schon von Montanari und dem bekannten Pastor Dörffel her. Der erstere fand für die Anfangshöhe einer in Bologna am 31. März 1676 gesehenen Feuerkugel 40 italienische Meilen und schloß aus dieser großen Höhe auf ihren kosmischen Ursprung. Der letztere berechnete die Höhe der Feuerkugel, welche am 12. August 1683 (alt. St.) über Deutschland hinwegzog, zu 39 Meilen, läßt sich aber auf keine Hypothese über den Ursprung des Meteores ein, sondern schreibt nur: „Ob und wie es nun mit Generation eines solchen angezündeten Körpers in einer Höhe von etlich und 30 bis 40 Meilen über der Erde, weit über der ordentlichen Lufft-Revier, natür-

lich zugehe, überlasse ich den Herren Physicis." Doch beachtete man diese und einige spätere vereinzelte Höhenbestimmungen von Meteoren nicht weiter, und man konnte, ehe Brandes und Benzenberg während ihrer Studienjahre in Göttingen den Versuch machten, die Höhe des Aufleuchtens und Verschwindens der Sternschnuppen systematisch zu messen, über die durchschnittliche Höhe dieser Gebilde weiter nichts sagen, als daß sie sehr bedeutend sein müsse, weil die Sternschnuppen Beobachtern auf hohen Bergen, namentlich Saussure auf dem Mont Blanc und Humboldt auf dem Chimborazo noch ebenso ferne schienen wie im Thale. Um nun die Entfernung zu bestimmen, stellten sich 1798 Brandes und Benzenberg zunächst an zwei, etwa 8 km von einander entfernten Orten auf und notierten an beiden Standpunkten die gesehenen Sternschnuppen mit Angabe der Zeit, wann, und des Ortes am Himmel, wo sie erschienen und verschwunden waren, ferner ihrer Größe und anderer Eigentümlichkeiten. Beim nächsten Zusammentreffen verglichen sie dann die Zeiten, in denen jeder von ihnen Sternschnuppen gesehen, und suchten daraus jene Beobachtungen zusammen, welche durch ihre Gleichzeitigkeit und die Ähnlichkeit der anderen notierten Umstände als ein und demselben Meteore angehörend sich auswiesen. Sodann gab die Verschiedenheit des Ortes am Himmel, an dem die Sternschnuppe von beiden Orten aus gesehen worden war, die Parallaxe und somit die Entfernung.

Brandes und Benzenberg hatten eine so kurze Standlinie gewählt, weil sie die Sternschnuppen für eine Art Wetterleuchten hielten, das in einer Entfernung von etwa 10 bis 15 km vom Erdboden vor sich gehe. Indes belehrten sie gleich die ersten Beobachtungen, daß diese Ansicht eine Täuschung gewesen sei, indem die Sternschnuppen meist in Höhen von mehr als 70 km, ja sogar in solchen von mehr als 150 km erschienen und verschwanden. Zur sicheren Ermittelung von so großen Höhen war jedoch die gewählte Standlinie zu kurz, da gerade bei dieser Art von Beobachtungen die unvermeidlichen Beobachtungsfehler sehr bedeutend sind und daher bei kleinen Parallaxen so schädlich auf das Resultat einwirken, daß sie ihm alles Vertrauen rauben. Sie gingen daher bei ihren ferneren Beobachtungen auf immer längere Standlinien über und fanden jetzt nicht nur die enorme Höhe des Aufleuchtens und Verschwindens der Meteore bestätigt, sondern folgerten überdies aus ihren Beobachtungen, daß es auch ziemlich viele Sternschnuppen gebe, welche sich von der Erdoberfläche entfernen*). Das letztere Resultat ist aber geradezu unerklärlich, wenn man annimmt, daß die Sternschnuppen von außen in die Atmosphäre eindringen, zu welcher Annahme man unter anderem durch das Vorkommen periodischer Meteorströme (§ 169) gedrängt wird. So standen die Sachen, als Bessel im Jahre 1839 den Gegen-

*) Damit ist natürlich ein wirkliches, nicht bloß optisches Aufsteigen gemeint, welches letztere auch bei herabfallenden Sternschnuppen eintreten kann und auch häufig genug eintritt, wenn sie dem Beobachter sich nähern, wobei sie scheinbar sogar bis zu seinem Zenithe aufsteigen können.

stand in die Hand nahm und durch Anwendung schärferer Berechnungsmethoden und genauere Untersuchung des Einflusses der Beobachtungsfehler auf das Resultat nachwies, daß allerdings die großen Entfernungen, in welche Brandes und Benzenberg das Erscheinen der Meteore versetzten, unbestreitbar, daß ihre Beobachtungen jedoch nicht genau genug seien, um das Vorkommen aufsteigender Meteore über jeden Zweifel zu erheben. Damit war allerdings schon viel gewonnen, allein der Nachweis noch nicht erbracht, daß es keine aufsteigenden Sternschnuppen gebe. Denn auch nach Bessel's Vorschriften berechnet, kamen in jeder größeren Beobachtungsreihe vielfach aufsteigende Bahnen vor, bei denen freilich das Aufsteigen in der Regel so mäßig war, daß man es durch Annahme zulässiger Beobachtungsfehler in ein Fallen verwandeln konnte; es fehlte indes noch der Nachweis, daß überall derartige Beobachtungsfehler auch wirklich begangen worden seien. Diese Ergänzung lieferte erst im Jahre 1868 der Herausgeber, indem er zeigte, daß bei allen bisher als aufsteigend gefundenen Bahnen in der That gröbere Versehen vorgefallen waren, und im folgenden Jahre an einer größeren Zahl von ihm veranlaßter korrespondierender Beobachtungen bestätigt fand, daß man nie zu aufsteigenden Bahnen geführt wird, wenn man bloß verläßliche Beobachtungen zu Grunde legt und dieselben nach der von ihm angegebenen Methode berechnet.

Aus einer von H. A. Newton ausgeführten Zusammenstellung aller verläßlichen Höhenbestimmungen von Sternschnuppen aus den Jahren 1798—1863 (etwa 260 an Zahl) folgt für die Höhe des Aufleuchtens der Meteore im Mittel 118 und für die Höhe des Erlöschens 82 km. Doch sind diese Zahlen selbstverständlich sehr großen Schwankungen unterworfen, weil hierbei außer der Größe und Gestalt der Meteore auch ihre chemische Beschaffenheit, ferner die Geschwindigkeit und Richtung ihres Eindringens in die Atmosphäre u. s. w. eine bedeutende Rolle spielen. Man gelangt aber zu minder von einander abweichenden Resultaten, wenn man die berechneten Höhen nach Meteorschauern sondert, in denen alle Meteore dieselbe Geschwindigkeit und wohl auch eine ähnliche chemische Konstitution haben. Dies hat der Herausgeber für die Meteore des später zu besprechenden Laurentiusstromes gethan und dabei gefunden, daß für diese die mittlere Höhe des Erscheinens und Verschwindens in 117 und 87 km liegt und keine Sternschnuppe dieses Stromes in einer größeren Höhe als 180 km aufleuchtet, während H. A. Newton aus zahlreichen amerikanischen Beobachtungen vom Jahre 1863 für die periodischen Meteore des 13. November die Höhe des Aufflammens und Verlöschens zu 155 und 98 km bestimmte.

A. Herschel hat auch den Versuch gemacht, die Masse der Sternschnuppen aus dem Lichte zu ermitteln, das sie entwickeln, und zwar auf folgende sinnreiche Weise. Kennt man von einer Sternschnuppe die Entfernung und den scheinbaren Glanz, so kann man die Intensität ihres Lichtes mit der einen gewissen Quantität von leuchtendem Gas numerisch vergleichen. Nimmt man nun ferner an,

daß bei Gas wie bei Sternschnuppen das entwickelte Licht sich wie die Menge der erzeugten Wärme verhält, so kann man leicht die durch Verbrennung des Meteores hervorgebrachte Wärme berechnen, deren mechanisches Äquivalent (§ 4) die in der Sternschnuppe verbrauchte lebendige Kraft darstellt. Ist nun noch die Geschwindigkeit des Meteores bekannt, so wird man daraus auf dessen Masse schließen können.

A. Herschel hat diese Rechnung für einige Sternschnuppen ausgeführt, die gleichzeitig an verschiedenen Punkten Englands in den Nächten vom 9. und 10. August 1863 beobachtet wurden. Die Resultate waren die folgenden:

Glanz wie	Zahl d. beob. Met.	Mittl. Gewicht
Venus	2	1953 g
Jupiter	2	2996 g
Sirius	7	358 g
Wega	1	29 g
Atair	3	10 g
Markab (α Perseus) . . .	4	6 g
Cor Caroli (α Jagdhunde)	1	6 g

Da der größte Teil der Sternschnuppen unter dem Glanze der hier angeführten größeren Gestirne steht, wird das Gewicht der kleinen Meteore nur Bruchteile von Grammen betragen. In der That fand A. Herschel bei 5 Meteoren des 12. November 1865 das mittlere Gewicht nur 0·36 g. Daß nun so winzige Körperchen bei ihrem heftigen Erglühen in unserer Atmosphäre völlig verzehrt oder, richtiger gesagt, zu feinem Dunst zerstäubt werden müssen, ist wohl ziemlich klar, und es erläutern daher diese Untersuchungen sehr schön die Thatsache, daß man (wenigstens mit Sicherheit) noch nie Sternschnuppenreste aufgefunden hat; denn das, was unsere Landleute unter der Bezeichnung Wetterglitt, Leversee ꝛc. und die Indianer unter dem Namen „Speichel der Sterne" als die herabgefallenen Reste von Sternschnuppen betrachten, sind nur Algen der Familien Tremella und Nostoc, zum Teil auch von Vögeln ausgeworfener, nur halb verdauter Froschlaich ꝛc., mit einem Worte Substanzen, die nach einem Regen und selbst schon in feuchter Luft bedeutend anschwellen und dadurch auf einmal an Orten auffällig werden, wo man sie früher nicht bemerkte. Übrigens ist es bereits mehrmals, namentlich N. v. Konkoly und A. Herschel gelungen, Meteore spektroskopisch zu untersuchen, wobei sich ergab, daß der Kern in der Regel ein kontinuierliches Spektrum besitzt, also aus einer festen, in der Glühhitze befindlichen Masse besteht. Das Spektrum der Schweife besteht aus hellen Linien, zeigt also die Charaktere eines Spektrums glühender Gase, und es lassen sich in demselben fast stets die Natriumlinien erkennen, zuweilen aber auch, namentlich bei gefärbten Meteoren, die Linien anderer Stoffe, wie Magnesium, Lithium u. s. w. und sogar die der Kohlenwasserstoffe.

Die Anzahl der Sternschnuppen, welche man in einem gegebenen Zeitraume

zu sehen erwarten darf, hängt von so vielen, zum Teile zufälligen Umständen ab, unter denen auch die Individualität des Beobachters keine geringe Rolle spielt, daß es uns nicht wundern kann, wenn wir die stündliche Zahl, die ein Beobachter im Durchschnitt sieht, zwischen 6 (Coulvier-Gravier) und 30 (Herrick) angegeben finden. Übrigens ist die Häufigkeit der Sternschnuppen, auch ganz abgesehen von allen ungewöhnlich reichen Fällen, an den einzelnen Tagen ein und desselben Jahres und an denselben Tagen verschiedener Jahre sehr großen Schwankungen unterworfen. Was aber allen Beobachtern, die sich eingehender mit Sternschnuppen befaßten, wie Brandes, Herrick, Wolf, Coulvier-Gravier, Heis, Schmidt u. a. sofort auffiel, war, daß die Frequenz der Sternschnuppen an jedem Orte von den ersten Abendstunden bis zum Morgen hin kontinuierlich zunimmt und am Morgen etwa dreimal so groß ist als am Abend. Die genauesten Untersuchungen hierüber hat J. F. Schmidt angestellt, und er giebt für die mittlere stündliche Frequenz die folgende Tabelle, die aus einer 35jährigen Beobachtungsreihe (1842—1876) mit Benutzung von nahezu 7000 beobachteten Meteoren berechnet ist. In dieser Tabelle sind die Stunden nach Mitternacht dem astronomischen Gebrauche gemäß über 12 fortgezählt, und es bedeutet in derselben 7 die Stunde zwischen $6^1/_2$ bis $7^1/_2$ Uhr u. s. f.

Stündliche Frequenz der Meteore.

Stunde	Mittl. Zahl d. Met.	Stunde	Mittl. Zahl d. Met.
7	4·6	12	11·5
8	5·6	13	13·1
9	6·8	14	14·4
10	8·2	15	15·0
11	9·8	16	14·8

Das Mittel dieser Zahlen ist 10, d. h. die mittlere stündliche Frequenz der Meteore beträgt für einen geübten Beobachter in einer Stunde 10. Da nun ein Beobachter selten mehr als ein Viertel, gewiß aber nicht mehr als ein Drittel des Himmels auf einmal überblicken kann, so muß man annehmen, daß an einem bestimmten Orte stündlich etwa 30 bis 40 Meteore sichtbar werden. Durch eine lange Kette scharfsinniger Schlüsse, welche auseinanderzusetzen hier zu weit führen würde, hat aber H. A. Newton gefunden, daß die Zahl der auf der ganzen Erde sichtbaren Meteore die Zahl der an einem bestimmten Orte sichtbaren beiläufig 10460mal übertreffen dürfte. Darnach durchkreuzen unsere Atmosphäre stündlich 314 000 bis 418 000 und täglich $7^1/_2$ bis 10 Millionen Meteore! Hierbei sind jedoch nur die mit freiem Auge wahrnehmbaren Sternschnuppen gerechnet; wollte man auch die teleskopischen dazu zählen, so müßte man diese ohnehin schon unglaublich großen Zahlen wohl noch verdoppeln oder gar verdreifachen.

Die größte Häufigkeit der Meteore tritt nach der obigen Tabelle um 15 Uhr,

d. h. um 3 Uhr morgens ein und beträgt 3 bis 4mal so viel als in den ersten Abendstunden.

Außerdem wurde bereits 1823 von Brandes erkannt, daß die Zahl der Sternschnuppen im Herbste größer sei als im Frühjahr. Diese jährliche Variation in der Meteorfrequenz, welche Ed. Biot auch aus chinesischen Beobachtungen erkannte, wurde später von Coulvier-Gravier, Wolf, Schmidt u. a. bestätigt. Die Untersuchungen Schmidt's ergeben nämlich:

Mittlere stündliche Frequenz der Meteore.

Monat	Mittl. Zahl d. Met.	Monat	Mittl. Zahl d. Met.
Januar	8·62	Juli	11·13
Februar	5·62	August	20·65
März	6·47	September	9·81
April	6·40	Oktober	14·15
Mai	6·05	November	13·29
Juni	6·12	Dezember	12·16

Darnach ist also Februar der sternschnuppenärmste Monat; überhaupt bleibt sich in der ersten Hälfte des Jahres die Zahl der Meteore fast gleich und beträgt kaum mehr als 6 in der Stunde. Erst gegen Ende Juli tritt ein rasches Anwachsen des Phänomenes ein, das trotz des sekundären, gut ausgesprochenen Minimums im September die ganze letzte Hälfte des Jahres bedeutend stärker auftritt.

Die durchschnittliche Größe der Meteore ist nach den Untersuchungen von Schmidt durch das ganze Jahr nahe dieselbe; ebenso ändert sie sich im Laufe einer Nacht nicht erheblich; nur in den Morgenstunden scheint deren Helligkeit im allgemeinen etwas größer zu sein als abends.

Endlich wurde außer der stündlichen und jährlichen Variation der Häufigkeit auch eine sehr verschiedene Verteilung der Meteorbahnen in Bezug auf das Azimuth ihrer Anfangspunkte ebenfalls bereits 1823 von Brandes bemerkt und hierauf vorzüglich von J. F. Schmidt und Coulvier-Gravier genauer studiert. Der letztere findet aus dreijährigen Beobachtungen (1840—1842) von fast 4400 Meteoren folgende Verteilung der Meteorbahnen nach der Richtung ihres Erscheinens:

Richtung	Zahl d. Met.	Richtung	Zahl d. Met.
N—NE	16·1%	S—SW	9·3%
NE—E	17·0%	SW—W	5·5%
E—SE	19·6%	W—NW	6·0%
SE—S	16·9%	NW—N	9·7%

Übrigens ist auch die azimuthale Verteilung der Sternschnuppen von der Beobachtungsstunde abhängig. So sind die nördlichen Richtungen gegen Mitternacht zahlreicher vertreten als gegen Morgen; aus Ost kommen des Morgens, aus West des Abends mehr Meteore, aus Süd mehr des Morgens.

Die ungleiche Verteilung der Meteore gegen die Kardinalpunkte des Hori-

zontes und die tägliche Variation ihrer Häufigkeit brachten wegen ihrer unleugbaren Beziehung zum Beobachtungsorte die Anhänger der kosmischen Theorie lange Zeit hindurch in nicht geringe Verlegenheit. Und doch hatte bereits 1825 Brandes in der Kombination der Bewegung der Erde mit der Bewegung der Meteore den wahren Grund dieser auffallenden, für den ersten Moment allerdings höchst rätselhaften Erscheinung erkannt und auch Herrick im Jahre 1838 sie nach demselben Prinzip erklärt. Dies geriet indes sonderbarerweise so sehr in Vergessenheit, daß Bompas im Jahre 1857 die Ursache dieser Erscheinung neuerdings auffinden mußte. Sie ist nach der lichtvollen Darstellung von Schiaparelli die folgende.

Alle bisherigen Erfahrungen führen darauf, daß im allgemeinen, d. h. abgesehen von besonderen Erscheinungen, Sternschnuppen von allen Himmelsgegenden in ziemlich gleicher Häufigkeit zu uns kommen. Denken wir uns nun die Erde unbeweglich inmitten dieser Wolke von Projektilen, so treffen dieselben offenbar alle Teile der Erdoberfläche in gleichmäßiger Weise, und ebenso werden die Dinge sich verhalten, wenn die Erde sich um ihre Achse dreht. Es wird also in diesem Falle auch keine stündliche Änderung in der Häufigkeit der Sternschnuppen geben. Denken wir uns hingegen, daß die Erde im Raume mit einer Geschwindigkeit fortschreite, gegen welche die der Meteore verschwindend ist, so wird sie hinter sich, so zu sagen, eine Leere lassen wie eine Kanonenkugel, die einen Haufen Mücken durchdringt. Alle Stöße werden auf der vorderen Halbkugel erfolgen, die in der Richtung der Erdbewegung liegt. Unter dieser Annahme wird man Sternschnuppen nur so lange wahrnehmen können, als der Punkt des Firmamentes, gegen den hin sich die Erde bewegt, über dem Horizonte steht; sobald dieser untergegangen ist, muß die Erscheinung aufhören. Zwischen jener absoluten Ruhe und dieser außerordentlichen Schnelligkeit kann man sich einen Mittelzustand der Erde vorstellen, bei welchem sie mit einer der Meteorgeschwindigkeit vergleichbaren Schnelligkeit im Raume sich bewegt. Es wird dann offenbar auch in Bezug auf die Erscheinung ein Mittelzustand eintreten; die Meteore werden sich je nach der Tageszeit mit veränderlicher Häufigkeit zeigen, und ihre Zahl wird von der Erhebung des Punktes, auf welchen zu die Erde sich bewegt, über dem Horizonte abhängen. Schiaparelli nennt diesen Punkt Apex oder auch meteorische Sonne. Vermöge der jährlichen Bewegung der Erde durchläuft der Apex die ganze Ekliptik während eines Jahres und erhält sich dabei wegen der geringen Excentricität der Erdbahn stets in einer Winkeldistanz von 89° bis 91° von der Sonne gegen Westen. Derselbe steht daher im Laufe des ganzen Jahres immer gegen 6 Uhr morgens in der oberen und gegen 6 Uhr abends in der unteren Kulmination. Somit muß nach obigem die größte Menge der Sternschnuppen morgens fallen, die kleinste abends, ganz so, wie es die Erfahrung lehrt.

In der Zeit von 6 Uhr abends bis 6 Uhr morgens, wo sich der Apex von der unteren Kulmination bis zur oberen fortbewegt, befindet er sich stets auf der östlichen Halbkugel des Himmels; deshalb wird der Beobachter die größte Menge

Sternschnuppen von Osten und von den benachbarten Richtungen her kommen sehen, die geringste Menge hingegen aus Westen.

In ähnlicher Weise läßt sich die jährliche Variation der Meteore für die nördliche Halbkugel erklären, wie zuerst im Jahre 1864 A. Herschel zeigte. Während der Frühjahrsnachtgleiche steht die Ekliptik bei Sonnenuntergang sehr hoch über dem Horizonte und der Apex daher so tief wie möglich; ebenso erhebt sich die Ekliptik bei Sonnenaufgang am wenigsten über dem Horizont, und der Apex kulminiert in seiner kleinsten Höhe. Während des Frühjahres bleibt daher die Zahl der Meteore sowohl von Abend bis Mitternacht, als auch in den Morgenstunden unter den Durchschnitte. Um die Herbstnachtgleiche erfolgt genau das Gegenteil. Bei Sonnenuntergang steht der im Krebse befindliche Apex nicht sehr tief unter dem Horizonte, dagegen bei Sonnenaufgang sehr hoch über demselben; um diese Zeit übersteigt daher die Zahl der Meteore die mittlere.

Das soeben gesagte gilt indes nur für die nördliche Halbkugel. Auf der südlichen muß sich, wie man leicht sieht, die jährliche Variation in der Frequenz der Meteore umkehren, falls die obige Erklärung richtig ist. Aus der südlichen Halbkugel liegen uns bisher aber nur mehrjährige Beobachtungen von G. Neumayer vor, welche nicht dafür sprechen, indem sie ebenso wie auf der nördlichen Halbkugel auch auf der südlichen eine größere Frequenz im Winterhalbjahre bekunden; allerdings mit einer viel geringeren Amplitude. Während nämlich Schmid's Beobachtungen für die mittlere stündliche Frequenz im Sommerhalbjahre (Januar bis Juni) 6·65, im Winterhalbjahre 13·51 Meteore ergeben, Zahlen, die sich sehr nahe wie 1:2 verhalten, verhalten sich diese Zahlen nach Neumayer's Beobachtungen bloß wie 1 : 1·4. Dieselben sind nun allerdings nicht zahlreich genug, dies Verhältnis sehr genau zu gebeu, lassen aber doch zweifellos erkennen, daß das Sommerhalbjahr auf der Südhalbkugel nicht reicher sei an Meteoren als das Winterhalbjahr. Wir kommen weiter unten (§ 171) auf diesen Umstand nochmals zurück und bemerken hier nur, daß man von diesem einen Punkte abgesehen, auf diese Art im ganzen und großen alle Einzelheiten der periodischen Variationen erklären kann, so daß diese, anstatt ein unüberwindliches Hindernis gegen die kosmische Theorie der Meteore zu bilden, dieselbe vielmehr auf das glänzendste bestätigen. Ja, noch mehr. Aus der eben gegebenen Darstellung sieht man sofort, daß die Amplitude der täglichen Variation in der Häufigkeit der Meteore aufs innigste mit dem Verhältnis verknüpft ist, in welchem die Schnelligkeit der Bewegung der Erde zur Schnelligkeit der Bewegung der Meteore steht, und daß es deshalb möglich ist, aus der durch die Beobachtung gegebenen Amplitude der täglichen Variation auf das Verhältnis der Geschwindigkeit von Erde und Meteoren zurückzuschließen. Diesen Weg betraten im Jahre 1865 H. A. Newton und im folgenden J. V. Schiaparelli und eröffneten damit eine Reihe von Untersuchungen, um die als Angelpunkt sich alle Fortschritte der Meteor-Astronomie drehen. Beide Forscher kamen dabei zu dem bemerkenswerten Resultate,

daß die mittlere Geschwindigkeit der Meteore bedeutend größer sei als die der Erde und beiläufig der einer parabolischen Bahn gleichkomme, oder mit anderen Worten: daß die Sternschnuppen sehr excentrische parabelähnliche Bahnen beschreiben. Damit war den Vermutungen über eine nahe Verwandtschaft von Kometen und Meteoren, welche schon von Chladni geäußert worden waren und nach und nach immer mehr an Konsistenz gewonnen hatten, erst eine sichere Basis gegeben. Während aber Newton vorläufig dabei stehen blieb, knüpfte Schiaparelli an dieses Resultat eine Reihe scharfsinniger Betrachtungen über die kosmische Stellung und das Entstehen parabolischer Meteorströme. Um dieselben jedoch verstehen zu können, müssen wir zunächst die sogenannten periodischen Meteore etwas näher betrachten.

§ 169. (Periodische und sporadische Sternschnuppen.) Als man dem Sternschnuppenphänomene mehr Aufmerksamkeit zuzuwenden begann, bemerkte man sehr bald, daß es einzelne Nächte gebe, die sich durch einen besonderen Reichtum an Meteoren auszeichnen. Ein großartiges Schauspiel dieser Art sahen Humboldt und Bonpland in den Morgenstunden des 12. November 1799 zu Cumana. Es zeigten sich daselbst von $2^1/_2$ Uhr nachts an Tausende von Feuerkugeln und Sternschnuppen am östlichen Himmel, die alle eine höchst gleichförmige Richtung von Nord nach Süd nahmen. Als die Erscheinung ihren Höhepunkt erreicht hatte, stand der gesamte Himmel fast beständig voll Feuerkugeln und Sternschnuppen; beim weiteren Fortschreiten der Dämmerung nahm die Pracht der Erscheinung natürlich allmählich ab, aber selbst $^1/_4$ Stunde nach Sonnenaufgang waren noch einzelne der hellsten Feuerkugeln wahrnehmbar. Dieses Phänomen war übrigens nicht auf die Gegend von Cumana beschränkt. Humboldt ließ es sich angelegen sein, alle Nachrichten darüber zu sammeln, und fand so, daß es sich in ganz Amerika, vom Äquator bis Neuherrenhut in Grönland, gezeigt habe; ja selbst in Deutschland fielen in jener Nacht außerordentlich viele Meteore vom Himmel. Der Gesamtbereich der Sichtbarkeit dieser Erscheinung umfaßt daher etwa 55 Millionen qkm. — Im Jahre 1823 zeigte sich in den Morgenstunden des 13. November wieder eine große Zahl von Sternschnuppen in Europa, und dies wiederholte sich auch 1832 in derselben Nacht. Doch ließ das im folgenden Jahre, abermals in der Nacht vom 12. auf 13. November von Olmsted und Palmer zu Newhaven gesehene Sternschnuppenphänomen alle seine Vorgänger an Pracht weit hinter sich. Dabei gingen die Feuerkugeln raketenartig von einem einzigen Punkte aus, und zwar in so großer Zahl, daß sie dicht wie Schneeflocken fielen und der Himmel fast ganz in Feuer zu stehen schien. Noch um 6 Uhr morgens, wo die Erscheinung schon viel von ihrer Schönheit eingebüßt hatte, zählte ein Beobachter in Boston an einer Stelle, die etwa ein Zehntel des Himmels betragen mochte, 650 Sternschnuppen in einer Viertelstunde, so daß in den 9 Stunden, die das Phänomen dauerte, für den Horizont von Boston am ganzen Himmel weit mehr als $^1/_4$ Million Meteore gefallen sein müssen. Auch diese Erscheinung zeigte sich in derselben Großartigkeit auf einem Flächenraume von reichlich 6 Millionen qkm. Da nun schon

mehrmals in derselben Nacht zahlreiche Sternschnuppenfälle eingetreten waren, kamen Olmsted und Palmer auf die Idee, daß dies eine periodische Erscheinung sei, die sich alljährlich in derselben Nacht wiederhole, eine Idee, deren Richtigkeit die Beobachtungen der folgenden Jahre bewährten. So zählte, um hier vorläufig nur noch ein Beispiel aus späteren Jahren zu erwähnen, K. v. Littrow am 13. November 1838 zu Wien während 6 Stunden von Mitternacht an mit mehreren Gehilfen 1002 Sternschnuppen.

Nachdem dieser Sternschnuppenstrom als periodisch konstatiert war, machte Olbers auf die Nächte vom 10. bis 12. August aufmerksam, in denen man ebenfalls bereits mehrmals eine bedeutende Zahl von Sternschnuppen gesehen. Auch diese Tage stellten sich sehr bald durch die Untersuchungen von Quetelet u. a. als Perioden besonderer Meteorfrequenz heraus; ebenso die Nächte vom 20. bis 24. April u. s. w.

Die bei periodischen Sternschnuppenschwärmen herabfallenden Meteore unterscheiden sich bereits darin von den in gewöhnlichen Nächten erscheinenden, daß sie bezüglich ihrer Farbe, Größe und Dauer wie bezüglich der Schweifbildung, kurz bezüglich ihres ganzen Habitus einander sehr ähnlich sind. Überdies durchkreuzen sie den Himmel nicht regellos in allen Richtungen, sondern beschreiben Bahnen, die, nach rückwärts verlängert, auf einen bestimmten Punkt des Himmels — den sogenannten Radiationspunkt — hinzielen, dessen Lage gegen die Gestirne weder im Laufe der Nacht noch von einem Jahr aufs andere sich ändert. Diese Thatsache ist von höchster Wichtigkeit. Ein Radiationspunkt kann nämlich nur dadurch entstehen, daß eine Gruppe von Meteoren in parallelen Bahnen an uns vorüberzieht. Er giebt nach den Regeln der Perspektive zugleich die Lage des Punktes an, von welchem die Gruppe kommt, genau ebenso wie mehrere Reihen von Bäumen, die in parallelen Linien gepflanzt sind, sämtlich aus ein und demselben Punkte auszugehen scheinen. Es weist daher alles darauf hin, daß die in solchen Nächten sichtbaren Meteore, zu Tausenden vereint, dieselbe Richtung im Weltraume verfolgen und die Sonne gemeinsam in einer Bahn umkreisen, welche an einem bestimmten Punkte die Erdbahn durchschneidet, und daß die Erde bei jedem Durchgange durch diesen Punkt dem Strome einen Teil seiner Glieder entreißt. Man nannte daher die diesen periodisch wiederkehrenden Sternschnuppenströmen angehörenden Meteore periodische oder systematische zum Unterschiede von den anderen Sternschnuppen, welche man als sporadische bezeichnete. Neuere Untersuchungen haben jedoch gezeigt, daß in jeder Nacht sich mehrere Radiationscentra nachweisen lassen, zwischen welche sich die einzelnen Meteore ziemlich gleichmäßig verteilen, und daß sie nur infolge dessen für den ersten Anblick regellos am Himmel herumzufliegen scheinen. Auch diese Verhältnisse sind von J. F. Schmidt am sorgfältigsten untersucht worden. Nach demselben sind im Durchschnitte stündlich 3 bis 4 Radiationscentren thätig; doch läßt sich auch in diesen eine jährliche und tägliche Periode erkennen. In der

ersten Hälfte des Jahres sind, der geringeren Menge der Meteore entsprechend, stündlich nur 2 bis 3 Radianten vorhanden, in der letzten hingegen 4 bis 5. Ebenso sind in den ersten Abendstunden im Durchschnitte bloß 2 Radianten thätig, in den Morgenstunden aber mindestens 4, und es entströmen überdies in den späteren Nachtstunden den einzelnen Radianten mehr Meteore als in den früheren, und zwar morgens etwa doppelt so viel als abends, woraus sich die erhebliche Zunahme der Meteorfrequenz mit dem Fortschreiten der Nacht erklärt.

Nach dem eben gesagten gehören daher so gut wie alle Sternschnuppen bestimmten Meteorströmen an, welche aber im allgemeinen viel dünner bevölkert sind als die früher erwähnten periodischen, von denen auf der nördlichen Halbkugel die bemerkenswertesten in die nachstehenden Epochen fallen.

1. Januar 1—3. Radiationspunkt bei v Herkules.
2. April 12—13. = südlich von β Leier.
3. April 19—23. Reicher Schauer mit vielen Radiationscentren. Einer der Hauptradianten liegt bei α Leier.
4. Juli 26—29. Reicher Schauer mit vielen Radianten, von denen einer im Schwan besonders thätig ist.
5. August 9—13. Der bereits oben erwähnte, auch unter dem Namen Laurentiusstrom bekannte, sehr reiche Meteorschauer mit vielen Radianten, von denen der wichtigste bei γ Perseus sich befindet. Von Mitte Juli bis Mitte August ist überhaupt ein sehr beträchtliches Anschwellen des Sternschnuppenphänomenes bemerkbar.
6. Oktober 19—25. Zeigte manche Jahre ziemlich reiche Fälle, bei denen die Meteore aus der Gegend von ν Orion, β Stier und β Zwillinge ausstrahlten.
7. November 13—14. Der ebenfalls schon oben erwähnte Novemberschwarm der Leoniden; Radiationspunkt in der Mitte zwischen γ und μ Löwe.
8. jetzt November 23, früher 27—29. Diffuse Radiation in der Andromeda.
9. Dezember 6—13. Radiationspunkt bei ϑ Zwillinge.

Über die reicheren Sternschnuppenströme der südlichen Halbkugel wissen wir noch sehr wenig, da außer den mehrjährigen, durch Heis bearbeiteten Meteorbeobachtungen Neumayer's noch keine größere Beobachtungsreihe darüber vorliegt. In diesen Beobachtungen spricht sich ein Anschwellen des Sternschnuppenphänomenes aus zwischen Januar 28 und Februar 2; März 12 bis 15; Mitte Mai, Anfang Juni; Juli 28 bis August 2; August 5 bis 7 und Dezember 18 bis 25. Die Zeit vom Juli 28 bis August 2 scheint die Epoche der Maximalfrequenz der Meteore in der südlichen Halbkugel zu sein, und giebt sich als solche auch aus gelegentlichen Notizen in den Tagebüchern der Reisenden zu erkennen. So macht J. C. Roß im Berichte über seine Südpolar-Expedition die folgende auf sie hinweisende Bemerkung: „1840 Juli 28—29 . . . meteors in great number were seen darting about in all directions . . .“ Auch Cruls hat 1881 in Rio Janeiro zwischen dem 25. und 30. Juli einen sehr bedeutenden

Meteorschauer beobachtet, bei dem die Meteore größtenteils aus der Nachbarschaft von Fomalhaut (α südl. Fisch) ausstrahlten.

Da die periodischen Sternschnuppenfälle in gewissen Jahren so überraschende Erscheinungen dargeboten hatten, durfte man mit Grund vermuten, in alten Geschichtsquellen Nachrichten von derartigen Phänomenen aus früheren Jahrhunderten aufzufinden. Die reichhaltigste Ausbeute ergaben übrigens wie bei den Kometen so auch hier die chinesischen Annalen, nachdem sie durch Ed. Biot's Bearbeitung allgemein zugänglich geworden waren. Alle so nach und nach über ältere Sternschnuppenerscheinungen gesammelten Notizen reduzierte H. A. Newton im Jahre 1863, um sie leichter mit einander vergleichbar zu machen, auf das Äquinoctium des Jahres 1850, und gelangte dabei unter anderem zu dem überraschenden Resultate, daß der oben unter 3 genannte Aprilschauer sich bis zum Jahre 687 vor unserer Zeitrechnung verfolgen lasse. Wir werden später bei der Besprechung einzelner periodischer Meteorschauer noch mehrfach auf diese wichtige Arbeit zurückkommen.

Es dürfte hier auch am Platze sein, etwas über die Beobachtungsmethoden des Laufes der Meteore einzuschalten. Die gewöhnliche Beobachtungsmethode besteht darin, daß die Anfangs- und Endpunkte der scheinbaren Meteorbahnen in Sternkarten eingezeichnet werden, und es haben auch die British Association, Heis, Hoek, Lorenzoni u. a. speziell zu diesem Zwecke nach verschiedenen Systemen und Projektionen entworfene Karten herausgegeben. Dieser Methode gegenüber führte K. v. Littrow im Jahre 1837 auf der Wiener Sternwarte eine andere Beobachtungsart ein, nach welcher die Meteore an kleinen, nur von Grad zu Grad geteilten Theodoliten beobachtet werden, die statt des Fernrohres eine einfache Visiervorrichtung tragen und von ihm Meteoroskope genannt wurden. Die zahlreichen, mit diesen Instrumentchen von 1837 bis 1841 angestellten Meteorbeobachtungen bewiesen auch die Zweckmäßigkeit dieser Beobachtungsart. Der Herausgeber ging daher auf dieselbe zurück, als er im Jahre 1866 mit dem Studium der Sternschnuppen sich zu befassen anfing, und hat nach derselben im Vereine mit mehreren Studierenden der Wiener Hochschule im Verlaufe weniger Jahre gegen 10 000 Meteorbahnen bestimmt. Der Hauptvorteil dieser Beobachtungsmethode besteht darin, daß sie so gut wie gar keine Vorübung fordert, um mit Sicherheit angewendet werden zu können, während beim Einzeichnen der Bahnen in Sternkarten, namentlich in sternreichen Gegenden, die Gefahr der Verwechselung der Sterne bei allen, welche mit dem gestirnten Himmel nicht vollkommen vertraut sind, sehr groß ist*).

*) Näheres über die bei Sternschnuppenbeobachtungen anzuwendenden Vorsichten, die zweckmäßigste Art der Anlegung der Beobachtungsregister u. s. w., sowie über andere Phänomene, durch deren Beobachtung Liebhaber der Sternkunde gute Dienste leisten können, enthält der Aufsatz des Herausgebers: „Anweisung zur Beobachtung allgemeiner Phänomene am Himmel ꝛc." in dem von G. Neumayer herausgegebenen Werke: „Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen".

§ 170. (Entstehung der Meteorringe.) Wir haben oben hervorgehoben, daß nicht nur die periodischen, sondern auch die sogenannten sporadischen Meteore eigentlich ganzen Sternschnuppensystemen angehören, nämlich aus Konglomeraten diskreter Körperchen bestehen, welche die Sonne in gemeinsamen Bahnen umkreisen. Eine genaue Diskussion der täglichen Variation in der Frequenz der Meteore hat überdies, wie wir wissen, Newton und Schiaparelli zu dem Resultate geführt, daß die Bahnen der Sternschnuppen sehr excentrisch, also den Bahnen der Kometen sehr ähnlich sind. Endlich sind die Radiationspunkte ziemlich gleichmäßig am Himmel verteilt, was dafür spricht, daß die Bahnen der Meteore im Weltraume alle möglichen Neigungen gegen die Ekliptik besitzen. Es sind daher auch in dieser Richtung die Meteore den Kometen sehr nahe verwandt, und man wird deshalb schwerlich irren, wenn man die Entstehung der Meteore sowie die der Kometen in die Räume außerhalb unseres Planetensystems verlegt. Diese und ähnliche Erwägungen veranlaßten Schiaparelli am Ende des Jahres 1866, folgende Theorie aufzustellen.

Man darf wohl annehmen, daß sich außerhalb unseres Planetensystemes Anhäufungen kleiner Weltkörper befinden, welche im Weltraume durch lokale Konzentration der Materie, etwa nach Art der Kristallisation von Stoffen aus Flüssigkeiten, entstanden sein können und als kosmische Wolken bezeichnet werden mögen. Gelangt nun eine solche kosmische Wolke in die Anziehungssphäre der Sonne, so wird sie, gleichviel welche Form immer sie ursprünglich hatte, wie Schiaparelli sehr schön nachweist, bei ihrer Annäherung an die Sonne zu einer langen parabolischen Strömung von verhältnismäßig geringem Querschnitte ausgezogen, die je nach Umständen Jahre, Jahrhunderte, ja selbst Jahrtausende brauchen kann, um Stück für Stück durch das Perihel zu gehen. Von diesen Strömungen machen sich jene, welche der Erde in deren jährlicher Bewegung begegnen, uns als meteorische, aus einem gewissen Punkte des Firmamentes ausstrahlende Schauer bemerkbar.

Die Anzahl der meteorischen Ströme, die in allen erdenklichen Distanzen und Richtungen das Sonnensystem durchkreuzen, ist wahrscheinlich sehr groß. Dabei gestattet die außerordentlich lockere Anordnung der Materie, aus welcher sie bestehen, solchen Strömen, einander zu durchschneiden, ohne sich zu stören ꝛc.

Die Bestandteile parabolischer Strömungen kehren, wie die Rechnung lehrt, nach dem Periheldurchgange mit größerer Verstreuung in die Himmelsräume zurück, als sie vor dem Durchgange hatten. Kommt dabei die Strömung einem Planeten nahe, so können sehr starke Störungen entstehen, ja sogar Trennungen einzelner Meteore in besondere Bahnen eintreten. Solche Meteore sind als eigentlich sporadische zu betrachten.

Übrigens sind die Analogien zwischen Meteorsystemen und Kometen so groß, daß man unwillkürlich zu der Frage gedrängt wird, ob man nicht die Existenz gemischter Systeme vermuten dürfe, in welchen eine Wolke von Meteoren um

einen oder mehrere größere Kerne, d. h. um einen oder mehrere Kometen gruppiert wäre. Es ist nun klar, daß, wenn ein gemischtes System dieser Art durch die Anziehungskraft der Sonne in der Gestalt eines parabolischen Stromes in unsere Sphären gebracht wird, die von den Hauptkörpern beschriebenen Bahnen nur wenig von der Parabel, in der die kleineren Körper angeordnet sind, abweichen können; finden wir daher eine Meteorströmung, deren Parabel in Größe und Lage identisch mit einer parabolischen Kometenbahn ist, so bildet der Komet offenbar einen Bestandteil des Stromes eines seiner Elemente.

Von dieser Idee geleitet, berechnete Schiaparelli nach einer Methode, die A. Erman bereits im Jahre 1839 erdacht hatte, die Bahn der Meteore vom 10. August, (die von dem Sternbilde, in welchem ihr Radiationspunkt liegt, Perseiden genannt werden). Kennt man nämlich die Richtung und Größe der absoluten Bewegung der Erde, setzt man jene der Perseiden der parabolischen gleich, und bedenkt man, daß die Richtung der relativen Bewegung der Erde gegen die Meteore durch den Radiationspunkt gegeben ist, so kann man daraus die Richtung der absoluten Bewegung der Perseiden im Raume, d. h. die Tangente an die von ihnen beschriebene Parabel an ihrem Berührungspunkte mit der Erde, beziehungsweise Erdbahn berechnen. Durch Brennpunkt (hier die Sonne), Berührungspunkt und Tangente ist aber eine Parabel bereits vollständig bestimmt. Nimmt man nach A. S. Herschel's Bestimmung als Koordinaten des Radiationspunktes: gerade Aufsteigung 44°, nördliche Abweichung 56° an, setzt man ferner das Maximum der Häufigkeit (Durchgang der Erde durch den niedersteigenden Knoten der Bahn) auf 1866, August 11, morgens 6 Uhr, so findet man nachstehende Bahn, bei welcher wir, als für die vorliegende Untersuchung ganz bedeutungslos, die Zeit des Periheldurchganges unterdrückt haben:

	Elemente.	
	Perseiden 1866	Komet 1862 III
Länge des Perihels . .	292° 54′	290° 13′
= = aufst. Knotens	138 16	137 27
Neigung	115 57	113 35
Periheldistanz	0·9643	0·9626
Umlaufszeit	—	123·4 Jahre.

Schiaparelli hatte so die Genugthuung, an dem großen Kometen 1862 III einen Bestandteil der Perseiden zu finden, wie dessen Elemente, die wir der leichteren Vergleichbarkeit wegen neben die der Perseiden gesetzt haben, sofort erkennen lassen; denn beide Elementensysteme weichen von einander nur um Größen ab, die sich leicht aus der geringen Genauigkeit erklären lassen, mit der man den Radiationspunkt von Sternschnuppenbahnen findet.

Dieses schlagende Beispiel der Zusammengehörigkeit von Meteoren und Kometen blieb jedoch nicht vereinzelt. Schiaparelli berechnete zum Schlusse

seiner Untersuchungen auch die Bahn der Novembermeteore, und nahm mit Rücksicht auf die ungewöhnlich reichen Sternschnuppenfälle, die sich in den Jahren 1799, 1833 und eben erst (1866) ereignet hatten, für die Umlaufszeit des Stromes 33·3 Jahre an. Den Radiationspunkt verlegte er dabei auf γ Löwe, nach Olmsted's Beobachtungen von 1833, und den Durchgang der Erde durch den niedersteigenden Knoten der Meteorbahn auf Mitternacht des 13. November. Er erhielt dadurch die unten mit I bezeichnete Bahn. Als aber einige Wochen später die englischen Beobachtungen des prächtigen Meteorfalles vom 13. November 1866 bekannt wurden, ergaben sie für die Lage des Radiationspunktes ein um mehr als 6° von der früheren Annahme abweichendes Resultat und für die Epoche des Glanzpunktes der Erscheinung November 14, 1 Uhr 11 Min. morgens mittlere Greenw. Zeit. Schiaparelli berechnete nun mit diesen verbesserten Daten nochmals die Bahn des Novemberschwarmes, den man nach dem Vorgange bei den Augustmeteoren als Leoniden bezeichnet, und fand so die Elemente II.

Elemente.

	Leoniden 1866		Komet 1866 I
	I	II	
Länge des Perihels	31°	46° 30·5′	42° 24·2′
= = aufst. Knotens . .	231	231 28·2	231 26·1
Neigung	165	162 15·5	162 41·9
Periheldistanz	0·96	0·9873	0·9765
Excentricität	0·91	0·9046	0·9054
Umlaufszeit	33·3 Jahr	33·25 Jahr	33·176 Jahr

Anfänglich entging Schiaparelli der Zusammenhang des Meteorstromes der Leoniden mit dem Kometen 1866 I, dessen Elemente wir wieder der leichteren Vergleichbarkeit wegen der Tabelle beigefügt haben, sei es, daß ihm die Übereinstimmung der beiden Elementensysteme nicht nahe genug erschien, sei es, daß er die Elemente des Kometen in dem von ihm benutzten Verzeichnis von Kometenbahnen nicht vorfand. Erst bei der zweiten Rechnung erkannte er sie, als bereits C. F. W. Peters und Th. v. Oppolzer auf dieselbe aufmerksam gemacht hatten.

So scharfsinnig die Theorie Schiaparelli's auch genannt werden muß, und so sehr sie durch den Erfolg, das Auffinden zweier Kometen, die in den Bahnen von Sternschnuppenströmen einhergehen, bestätigt zu werden scheint, hob doch bereits am Anfange des Jahres 1867 der Herausgeber hervor, daß sie trotzdem der Natur nicht entsprechen könne. Denn die Meteorströme sind, vielleicht mit Ausnahme eines oder des anderen ganz besonders reichen, im allgemeinen so dünn bevölkert, und es ist zugleich die durchschnittliche Masse der einzelnen Meteorkörperchen so klein (§ 168), daß man den kosmischen Wolken, sollen aus ihrer Verwandlung in parabolische Ketten derartige Meteorströme entstehen, eine so geringe Dichte geben muß, daß selbst in den Tiefen des Weltraumes die

inneren Anziehungen des Systemes noch immer kleiner bleiben als die zerstreuenden Wirkungen der benachbarten Fixsterne. Da unter solchen Umständen die kosmische Wolke keine Stabilität besitzt, kann sie auch im Fixsternraume nicht vorkommen; wir müssen daher die Kometen nicht bloß als accessorische Bestandteile einer Meteorwolke, sondern vielmehr als die Urkörper betrachten, durch deren Zerfall, jedoch erst innerhalb der Räume unseres Sonnensystemes, nach und nach die Meteorströme sich bilden. Für diese Annahme sprechen selbst die oben erwähnten Beispiele der Zusammengehörigkeit von Kometen und Meteorströmen, da die beiden hier in Betracht kommenden Kometen zu denen mit verhältnismäßig kurzer Umlaufszeit gehören und man nun allgemein annimmt, daß solche Kometen ihre ursprüngliche, nahe parabolische Bahn erst durch die Störungen eines Planeten verloren haben. Dies angenommen, kann die Zerstreuung in eine Meteorwolke erst eingetreten sein, nachdem die Bahn des Kometen bereits in jene umgeformt war, die er noch jetzt beschreibt, weil der störende Planet sonst nur eine einzelne ganz geringfügige Partie des Meteorstromes in eine neue Bahn hätte lenken können. Schiaparelli hat auch die Beweiskraft dieser Argumente anerkannt, indem er in späteren Publikationen seine ursprünglichen Ideen fallen ließ und die des Herausgebers adoptierte.

Der Herausgeber ging indes noch einen Schritt weiter. Ist nämlich seine Ansicht die richtige, so muß nicht nur jeder periodische Komet die Bildung eines Meteorringes veranlassen, sondern es müssen alle periodisch wiederkehrenden Sternschnuppenfälle überhaupt dem Durchschnitte der Erdbahn mit periodischen Kometen ihre Entstehung verdanken. Von diesem Gedankengange geleitet, berechnete er zunächst die Radienvektoren beim Durchgange durch die Ekliptik für jene Kometen, deren Knoten den Längen entsprechen, welche die Erde während der reicheren periodischen Sternschnuppenfälle (§ 169) einnimmt. Er fand dadurch sofort zwei weitere Kometen, und zwar wieder periodische mit kurzer Umlaufszeit, welche in ihrem niedersteigenden Knoten die Erdbahn dort durchschneiden, wo wir alljährlich am 20. April und Ende November sehr reichen Meteorströmen begegnen. Es sind dies der Komet 1861 I und der Biela'sche. Außer diesen beiden und den zwei bereits oben genannten Kometen ist vorläufig von keinem andern mit voller Sicherheit der Konnex mit einem Meteorringe nachgewiesen. Wohl hat nicht nur der Herausgeber selbst seine Untersuchungen später auf alle Kometen ausgedehnt, welche überhaupt der Erdbahn sich bedeutend nähern, sondern es haben sich auch Schiaparelli, A. S. Herschel u. a. damit beschäftigt, und es sind dadurch allerdings noch etwa ein Dutzend Kometen aufgefunden worden, die man mit größerer oder geringerer Wahrscheinlichkeit mit einem Meteorstrome in Zusammenhang bringen kann. Aber das zweifellose Feststellen dieses Zusammenhanges scheitert teils an der geringen Sicherheit, mit der wir die Lage der meisten Radianten kennen, teils an der Unsicherheit der Bahnelemente der älteren Kometen.

§ 171. (Stellung der Kometen und Meteore im Sonnensysteme.) Es dürfte hier auch der Ort sein, die interessante Frage über die Stellung der Kometen in unserem Sonnensystem etwas eingehender zu erörtern.

Seit Kant und später Laplace die berühmte Nebulartheorie für die Entstehung unseres Sonnensystems (III. Abt. § 100) aufstellten, in der auf die Kometen keine Rücksicht genommen wurde, betrachtete man diese Gestirne ziemlich allgemein als herrenlose Bewohner der Sternenwelt, die im Laufe ungezählter Jahrtausende aus einem Fixsternsystem ins andere wandern. Gegen diese Ansicht machte zuerst K. Hornstein geltend, daß die Bahnen der meisten Kometen fast genau die parabolische Gestalt haben; daß ferner zwar einige, die sich in unserem Sonnensysteme festgesetzt, Ellipsen mit ziemlich kurzer Umlaufszeit beschreiben, daß aber unter den wenigen Kometen, die sich vielleicht in einer Hyperbel bewegen, kein einziger vorkommt, dessen hyperbolische Bahn bedeutend von der Parabel sich entfernt. Daraus schließen wir, daß von den bisher beobachteten Kometen alle diejenigen, welche sich sehr weit aus unserem Planetensystem hinausbewegen, in großen Fernen an Geschwindigkeit so sehr verlieren, daß sie für uns fast still zu stehen scheinen oder, was dasselbe ist, daß ihre relative Geschwindigkeit gegen die Sonne, sobald sie sich sehr weit von dieser entfernt haben, verschwindet. Allein diese Sonne darf selbst nicht als ruhend im Raume vorausgesetzt werden; sie hat vielmehr, wie weiter unten (§ 184) nachgewiesen werden wird, eine bedeutende Eigenbewegung, vermöge welcher sie gegenwärtig auf das Sternbild des Herkules zu schreitet. Und wie die Sonne, so haben auch die übrigen Fixsterne eine fortschreitende Bewegung, und alles scheint darauf hinzudeuten, daß der ganze uns umgebende Fixsternhimmel, vielleicht auch die Milchstraße noch mit einbegriffen, nur ein großes System bildet, dem eine gemeinschaftliche Bewegung um seinen Schwerpunkt zukommt. Da nun bei einer solchen Bewegung die Sonne mit den ihr zunächst liegenden Fixsternen so ziemlich einerlei Geschwindigkeit und Richtung der Bewegung haben wird, die Kometen also, wenn sie in großer Entfernung von der Sonne fast in relativer Ruhe gegen diese begriffen sind, ungefähr dieselbe absolute Bewegung besitzen müssen wie sie selbst, so folgt daraus, daß die Kometen an der gemeinschaftlichen Bewegung des Fixsternsystemes, dem unsere Sonne angehört, teilnehmen, und sonst keine, ihnen ursprüngliche Bewegung haben. Denn hätten sie eine solche, so müßten sie beim Eintritte in unser Sonnensystem eine bedeutende relative Geschwindigkeit gegen die Sonne besitzen, und infolgedessen ihre Bahnen Hyperbeln sein, die von der parabolischen Gestalt stark abweichen. Es scheint also, daß die Kometen nicht so sehr wesentliche Bestandteile unseres engeren Sonnensystemes als vielmehr des großen Fixsternsystemes bilden.

Auch Schiaparelli wurde durch seine diesbezüglichen Untersuchungen zu einem ähnlichen Resultate geführt, wie Hornstein, beschränkt es jedoch insofern, als er die Kometen nicht allgemein als Bewohner des Fixsternsystemes, dem

unsere Sonne angehört, betrachtet, sondern speziell als Bewohner unseres Sonnensystemes ansieht, welche mit der Sonne aus derselben Nebelmasse entstanden sind und sie fortwährend auf ihrer kosmischen Bahn begleiten. Faßt man nun die Sternschnuppen und Feuermeteore überhaupt als Zersetzungsprodukte der Kometen auf, so sind natürlich auch sie aus derselben Nebelmasse wie die Sonne entstanden, und es wird dadurch die Erklärung des oben (§ 167) hervorgehobenen Umstandes, daß die chemische und mineralogische Beschaffenheit der Meteoriten im ganzen ziemlich gleichartig ist, sehr erleichtert.

Für diese Ansicht Schiaparelli's spricht auch der Umstand, daß neueren Untersuchungen zufolge ursprünglich überhaupt kein Komet in einer hyperbolischen Bahn einhergegangen zu sein scheint, indem, wenn er auch in einer solchen unser Sonnensystem verließ, dieser Charakter ihr erst durch die Störungen der Planeten aufgedrückt wurde. Ein sehr interessantes und instruktives Beispiel dieser Art haben wir durch die Bemühungen von Pfarrer Thrän an dem am 3. Dezember 1885 von Barnard entdeckten, als 1886 II bekannten Kometen kennen gelernt, der bis zum 26. Juli 1886 verfolgt werden konnte, und während dieser Zeit einen heliocentrischen Bogen von mehr als 180° zurücklegte. Nach den eingehenden Untersuchungen von Thrän beschrieb dieser Komet beim Verlassen der inneren Räume unseres Sonnensystems eine allerdings bloß schwach ausgeprägte, aber ganz entschieden hyperbolische Bahn, so daß seine Wiederkehr für immerdar ausgeschlossen ist. Bei der Zurückrechnung der Störungen von Jupiter und Saturn, denen allein der Himmelskörper bei seinem Herabsteigen zum Perihel sich so weit genähert hatte, daß sie seinen Lauf merklich beeinflussen konnten, fand er für die Excentricität der Bahn, das einzige Element, das uns hier interessiert, zu den beigeschriebenen Zeiten die nachstehenden Werte:

1885 Dezember 8	1·00023
1884 August 13	1·00018
1883 April 23	1·00006
1882 Oktober 5	1·000002

Dieses allmähliche Sinken der Excentricität auf die Einheit zeigt, daß die Bahncurve des Kometen vor dem 5. Oktober 1882, wo seine Entfernung von der Sonne 12·7 Erdbahnhalbmesser betrug, eine langgestreckte Ellipse war, und daß er erst bei seiner Perihelpassage im Mai 1886 durch die Störungen von Jupiter und Saturn aus unserem Sonnensysteme hinausgeworfen wurde.

Diese schöne Untersuchung ergänzte kurze Zeit nachher Fabry durch den wichtigen Nachweis, daß, von speziellen Fällen abgesehen, im allgemeinen die Störungen der Planeten stets die Tendenz haben, die Excentricität der Kometenbahnen zu vergrößern. Dies alles zusammengenommen, weist unverkennbar darauf hin, daß die wenigen Kometen, bei denen die Rechnung mit einer gewissen Sicherheit schwach hyperbolische Bahnen ergeben hat, vor dem Eindringen in das Innere unseres Sonnensystems noch nicht in diesen Bahnen einhergingen.

Nichtsdestoweniger wäre es eine sehr dankenswerte Aufgabe, auch für diese Himmelskörper die Bahn zu ermitteln, die sie *vor* ihrer Perihelpassage beschrieben, indem nur der sichere Nachweis des ursprünglichen Vorkommens oder Nichtvorkommens von hyperbolischen Bahnen die Entscheidung der Frage nach dem Ursprunge und der Stellung der Kometen im Weltall einen erheblichen Schritt weiter zu fördern geeignet ist.

Ob aber alle Sternschnuppenströme und Feuermeteore überhaupt als Restprodukte von Kometen aufzufassen seien, ist noch keineswegs sicher entschieden. Es wurde nämlich im § 168 auseinandergesetzt, daß man aus der Amplitude in der Periode der täglichen Häufigkeit der Meteore auf die mittlere Geschwindigkeit derselben zurückschließen könne, und daß man daraus die Geschwindigkeit der parabolischen nahe gleich gefunden habe. Streng genommen, ergiebt aber eine genauere Diskussion dieses Gegenstandes an der Hand der Zahlenwerte von *Coulvier-Gravier*, *Schmidt* und *Denning*, daß die tägliche Amplitude größer ist, als es der Voraussetzung parabolischer Bahnen für alle Meteorströme entspricht, und daß insbesondere auch die Maximalfrequenz der Meteore der Mitternacht näher liegt, als es nach der obigen Voraussetzung der Fall sein sollte. Nicht nur diese beiden Umstände weisen darauf hin, daß die Geschwindigkeit der Meteorströme im Durchschnitte die parabolische übertreffen, also eine hyperbolische sein dürfte, sondern mit noch größerem Gewichte der Umstand, daß, wie bereits kurz erwähnt wurde (§ 168), sowohl auf der nördlichen, als auch auf der südlichen Halbkugel der Erde die Frequenz der Meteore im ersten Halbjahre geringer ist als im zweiten. *Bompas* führt dies darauf zurück, daß vermöge der Bewegung des Sonnensystems gegen das Sternbild des Herkules hin die *absolute* Geschwindigkeit der Erde sich bei ihrer Bewegung vom Perihel zum Aphel (Juli bis Dezember) vergrößert, vom Aphel zum Perihel (Januar bis Juni) hingegen verkleinert, und daß die Erde deshalb in der zweiten Jahreshälfte mehr Meteore auffängt als in der ersten. Diese Erklärung ist aber, wie leicht ersichtlich, nur unter der Voraussetzung stichhaltig, daß die Meteore die Bewegung des Sonnensystems *nicht* teilen, sondern eine von derselben *verschiedene* besitzen: sie weist also den Meteoren im allgemeinen einen interstellaren Ursprung an. Dazu kommt noch, daß dem Augenscheine zufolge zwischen den Sternschnuppen und den hellsten Meteoren, den sogenannten Feuerkugeln oder Boliden kein genereller, sondern bloß ein Größenunterschied (§ 166) stattfindet. Nun hat aber bereits *Schiaparelli* darauf aufmerksam gemacht, daß den Berechnungen zufolge fast alle Boliden eine kosmische Geschwindigkeit besitzen, welche die parabolische bei weitem übertrifft, und jahrelang fortgesetzte mühevolle Untersuchungen von Prof. *G. v. Nießl* an einer großen Zahl der im letzten Decennium erschienenen und genauer beobachteten Feuerkugeln haben dieses Resultat zu einer nahe an Gewißheit grenzenden Wahrscheinlichkeit erhoben. Unter diesen Umständen wird es immer wahrscheinlicher, daß nur jene Meteorströme als Ureinwohner unseres

Sonnensystems zu betrachten sind, welche Kometen ihren Ursprung verdanken, daß wir hingegen in den übrigen mit Einschluß der Boliden im wahren Sinne des Wortes Boten des Weltalls vor uns sehen, die aus den verschiedensten Gegenden des Sternenraumes zu uns gelangen.

§ 172. (Nähere Besprechung der vier wichtigsten Meteorströme.) Nach dieser Abschweifung wollen wir zur Ergänzung unserer früheren Notizen über die vier Meteorströme, deren Zusammenhang mit Kometen bekannt ist, noch folgende Bemerkungen von allgemeinerem Interesse beifügen.

Bereits im Anfange unseres Jahrhunderts waren mehrere reiche Sternschnuppenfälle am 20. April und den Nachbartagen bemerkt worden; daß sie periodisch wiederkehren, erkannte aber erst 1839 Herrick, während Newton im Jahre 1863 durch Reduktion der über ältere Sternschnuppenfälle gesammelten Notizen auf das Jahr 1850 die interessante Thatsache ans Licht brachte, daß wir diesen Schauer bis ins Jahr 687 vor unserer Zeitrechnung zurückverfolgen können. Es liegen von demselben überhaupt folgende ältere Daten vor:

vor Chr.	687	März	16	entspricht nach Chr.	1850	April 19·9
= =	15	=	25	= = = = =		19·6
nach Chr.	582	=	31	= = = = =		18·1
= =	1093	April	9·6	= = = = =		20·7
= =	1094	=	10	= = = = =		20·8
= =	1095	=	9·6	= = = = =		20·2
= =	1096	=	10	= = = = =		21·3
= =	1122	=	10·6	= = = = =		20·2
= =	1123	=	11	= = = = =		20·4
= =	1803	=	19·6	= = = = =		19·9

Zwei weitere Erscheinungen, bei denen eine nähere Zeitangabe fehlt, gehören jedenfalls auch hierher; es sind die folgenden:

n. Chr.	590	vor Ostern oder April 4		entspricht	1850	April 22·1
= =	741	= = = =	13	= = =		28·3

Endlich hängt bei fünf weiteren Daten aus den Jahren 538, 840, 1000, 1009 und 1158 der Tag der Erscheinung von Ostern ab. Ein Fehler im Jahre, der leicht begangen sein kann, würde somit den Tag ändern. Dürfte man statt der obigen Jahre der Reihe nach setzen 536, 842, 1002, 1010 und 1160, so entsprächen die Tage der Erscheinungen, auf 1850 reduziert, beziehungsweise April 18·9, 20·4, 20·4, 19·4, 18·9, und es würden sich diese Daten dann auch auf das Aprilphänomen beziehen.

Herrick gab an, daß der Radiant dieses Schauers in der Nähe von Wega liege. Neuere Bestimmungen lieferten dafür als genauere Position im Mittel: gerade Aufsteigung 278·7°, nördliche Deklination 35·0°. Daraus erhielt der Herausgeber für den Meteorstrom die folgenden Elemente:

	April 20. Meteorstrom	Elemente. Komet 1861 I.	April 13. Meteorstrom
Länge des Perihels	228·7°	243·2°	234·6°
= = aufst. Knotens . .	30·0	29·8	23·2
Neigung	83·0	79·8	95·0
Periheldistanz	0·9789	0·9207	0·9345
Umlaufszeit	—	415 Jahre	—

Die Abweichung der Bahn des Meteorstromes von der des Kometen 1861 I ist in der Länge des Perihels zwar ziemlich bedeutend, indes doch zu gering, um den physischen Konnex des Meteorringes mit dem Kometen in Frage zu stellen, und kann, diesen vorausgesetzt, einen doppelten Grund haben. Es kann nämlich die Auflösung des Kometen schon vor sehr langer Zeit begonnen, er selbst aber erst vor verhältnismäßig kurzer Zeit nochmals eine Störung erlitten haben, die seine Bahnlage etwas änderte, während der schon gebildete Meteorring von derselben nicht mehr affiziert wurde. Es kann indessen auch in der Nähe der Durchkreuzungsstelle von Erd- und Kometenbahn ein größerer Komet in mehrere kleinere zerfallen sein, von denen wir erst den einen kennen. Die Zulässigkeit der letzten Erklärungsweise kann nach den bereits wiederholt beobachteten Teilungen eines Kometen (§§ 149, 155, 159) und nach der Auffindung eines Doppelkometen durch Liais im Jahre 1860 wohl nicht bezweifelt werden. Für eine Teilung des Kometen 1861 I scheint überdies auch die merkwürdige Bildung seines Kopfes zu sprechen, indem die Verbindung zwischen Schweif und Koma nur durch ein schmales, schwach leuchtendes Band vermittelt wurde; ferner der Umstand, daß die oben zusammengestellten reichen Sternschnuppenfälle, die diesem Strome angehören, auf mehrere kometenartige Verdichtungen in seinem Inneren hinweisen, da sich nicht alle als Wiederkünfte eines und desselben Teiles des Meteorringes auffassen lassen, wenn man ihm nicht eine unwahrscheinlich kurze Umlaufszeit geben will; endlich der von Greg und A. Herschel aufgefundene Meteorschauer am 12. und 13. April mit einem Radiationspunkte in gerader Aufsteigung 273°, nördlicher Abweichung 25·5°. Die aus diesen Angaben vom Herausgeber gerechnete parabolische Bahn ist der Vergleichung wegen oben neben die Bahn des Kometen 1861 I gesetzt worden und zeigt, daß beide Bahnen noch so ähnlich sind, daß man sie recht wohl als Argument zu Gunsten der eben besprochenen Hypothese ansehen kann. Schließlich sei noch erwähnt, daß wenige Tage nach dem Herausgeber auch Dir. J. Galle auf den mutmaßlichen Zusammenhang der periodischen Meteore vom 20. April mit dem Kometen 1861 I aufmerksam gemacht hat.

Die Nachrichten vom Laurentiusstrom (August 9—13) reichen bis auf 830 n. Chr. zurück, und es sind folgende ältere Erscheinungen desselben bekannt:

nach Chr. 830 Juli 26 entspricht nach Chr. 1850 Aug. 9·2
= = 833 = 27 = = = = = 10·4

nach	Chr.	835	Juli	26	entspricht	nach	Chr.	1850	Aug.	8·9
=	=	841	=	25	=	=	=	=	=	8·4
=	=	924	=	26—28	=	=	=	=	=	8·1—10·1
=	=	925	=	27, 28	=	=	=	=	=	8·8, 9·8
=	=	926	=	27	=	=	=	=	=	8·6
=	=	933	=	25—30	=	=	=	=	=	5·8—10·8
=	=	1243	Aug.	2	=	=	=	=	=	10·6
=	=	1451	=	5	=	=	=	=	=	10·0

Die Erscheinungen der Jahre 830—841, 924—933, 1243, 1451 und die verhältnismäßig sehr reichen neueren von 1779, 1784 und 1789 fügen sich so ziemlich in eine Periode, wenn man voraussetzt, daß die Perseiden alle 108 Jahre ein Maximum von Häufigkeit zeigen, das nicht plötzlich eintritt, sondern etwa 20—30 Jahre anhält. Es ist demnach die Periode des Laurentiusstromes dem des Kometen 1862 III, der oben (§ 170) mit ihm identifiziert wurde, sehr nahe gleich.

Der Laurentiusstrom hat zwar in der neueren Zeit zu keinen so außergewöhnlich reichen Sternschnuppenfällen Veranlassung gegeben wie die Novemberphänomene, aber er ist im Durchschnitt der reichste und auch andauerndste Meteorstrom. Allerdings gehören bei weitem nicht alle während dieser Zeit erscheinenden Meteore den Perseiden an, sondern es sind namentlich von August 12 an noch sehr viele andere Radiationen, wahrscheinlich mehr als 30 stark vertreten. Aus dieser Epoche liegen auch bei weitem die zahlreichsten Beobachtungen vor, und man wird kaum fehlgehen, wenn man sie auf mehr als 20 000 beziffert. Berechnungen der Bahn dieses Stromes wurden mehrfach ausgeführt, zuletzt durch Erman, wie bereits oben (§ 170) erwähnt ist. Dieser Versuch hatte indes keinen sonderlichen Erfolg, weil Erman damals noch kein Mittel besaß, die Geschwindigkeit der Meteore auch nur annähernd zu schätzen, weil er ferner seine Resultate in einer wenig übersichtlichen und zweckmäßigen Form mitteilte, und endlich, weil er auf den Abweg geriet, aus dem Durchgange der Meteorwolke vom 10. August zwischen Erde und Sonne bei ihrem aufsteigenden Knoten die gewöhnlich um den 7. Februar eintretenden Kälterückfälle ableiten zu wollen, und demgemäß dem Meteorringe eine sehr kurze Umlaufszeit geben mußte. Nebenbei sei bemerkt, daß Erman auf analoge Weise auch den Kälterückfall Mitte Mai (die sog. Eismänner) dem Novemberstrome der Leoniden zuschrieb. Außerdem kombinierte K. v. Littrow im Jahre 1841 die Erscheinung vom 26. Juli 830 mit der vom 5. August 1451 und wies die höchst wahrscheinliche Identität dieser Schwärme mit unserem heutigen Strome vom 10. August nach, ohne daß dies weitere Beachtung fand, wohl nur deshalb, weil man übersehen hatte, daß die aus dieser Verbindung resultierende synodische Umlaufszeit des Stromes dem siderischen Jahre der Erde gleich ist. Endlich haben sich auch

Twining, Newton u. a. mit diesem Meteorringe beschäftigt, bis es schließlich Schiaparelli gelang, die wahre Bahnform desselben aufzufinden.

Zu sehr interessanten Untersuchungen gab der Meteorstrom der Leoniden (November 13—14) Veranlassung. Wir haben bereits gesehen, daß er es war, der uns das Vorhandensein periodischer Meteorströme kennen lehrte; ferner veranlaßte der Umstand, daß in den Jahren 1799 und 1833 sich ganz außergewöhnlich reiche Sternschnuppenfälle zugetragen hatten, verbunden mit der Nachricht von Humboldt, daß sich auch im Jahre 1766 vor einem furchtbaren Erdbeben in Südamerika zahllose Sternschnuppen gezeigt haben, Olbers, Olmsted, Twining und Herrick, abermals einen außergewöhnlichen Sternschnuppenfall für das Jahr 1866 vorherzusagen. Dieser Schauer war auch der erste, von dem man Nachrichten aus früheren Jahren auffand. Es gelang dies 1839 H. L. v. Boguslawski, der dabei sofort bemerkte, daß sich das Phänomen alljährlich verspäte. Diese jährliche Verspätung, die er auf etwa 34^m anschlug, leitete er daraus ab, daß die große Achse des Meteorstromes etwas größer sei als die der Erdbahn (bloß um etwa 5300 km), und versuchte unter dieser Annahme eine Bahnberechnung des Stromes, die erste dieser Art, die überhaupt ausgeführt wurde.

Weitere ähnliche Untersuchungen unternahm erst wieder H. A. Newton im Jahre 1863 in einer sehr eingehenden Diskussion aller älteren Nachrichten über dieses Phänomen, um aus ihnen etwas näheres über die Bahn des Stromes und die Wahrscheinlichkeit einer Rückkehr desselben im Jahre 1866 zu erfahren. Er bestimmte zunächst dessen Verspätung zu einem Tage für je 70 Jahre und stellte dadurch folgende beobachtete Wiederkünfte desselben fest, denen er später noch eine vom 27. Oktober 1602 hinzufügte:

n. Chr.	902	Okt.	18·5	entspr.	n. Chr.	1850	Okt.	30·0	umgewandelt in	Nov. 12·5
	931	=	19	=	=	=	=	31·3	=	= = 13·4
	934	=	19	=	=	=	=	31·5	=	= = 13·8
	1002	=	20	=	=	=	=	31·1	=	= = 12·2
	1101	=	24	=	=	=	Nov.	3·0	=	= = 13·7
	1202	=	26	=	=	=	=	4·1	=	= = 13·4
	1366	=	29·5	=	=	=	=	5·6	=	= = 12·5
	1533	Nov.	3	=	=	=	=	7·0	=	= = 11·5
	1698	=	8·6	=	=	=	=	11·6	=	= = 13·8
	1799	=	11·6	=	=	=	=	12·9	=	= = 13·6
	1833	=	12·7	=	=	=	=	13·3	=	= = 13·5

Ein Blick auf diese Tabelle zeigt, daß ein Cyklus von etwa einem Dritteljahrhundert stattfindet, und daß man am Ende eines jeden während zweier oder dreier Jahre besonders reiche Sternschnuppenfälle zu gewärtigen habe. Aus einer genaueren Diskussion der obigen Erscheinungen mit thunlichster Berücksichtigung aller mitgeteilten Nebenumstände folgerte Newton, daß die Länge

des Cyklus 33·25 Jahre betrage, und der damals letzte 1832·5 begonnen habe. Auf diese Untersuchungen gestützt, konnte er mit voller Bestimmtheit einen sehr reichen Sternschnuppenfall für die Nacht vom 13. auf 14. November 1866 vorhersagen, der auch in der That in ungeahnter Pracht und Großartigkeit sich einstellte.

Newton bespricht nun die verschiedenen Ursachen, welche das Auftreten reicher Sternschnuppenfälle nach je $33^1/_4$ Jahren bewirken können, und bleibt schließlich bei der Annahme stehen, daß das Phänomen von einem Meteorringe veranlaßt wird, der an einem bestimmten Teile von 10^0 bis 15^0 Ausdehnung besonders reich bevölkert ist. Unter dieser Voraussetzung kann der Ring in einem Jahre höchstens zwei Umläufe vollenden; denn eine Bahn mit einer Umlaufszeit von $^1/_3$ Jahr hat bereits eine kleinere große Achse, als die Entfernung der Erde von der Sonne beträgt. In einem Jahre muß also die dichte Gruppe entweder $2 \pm \frac{1}{33{\cdot}25}$ oder $1 \pm \frac{1}{33{\cdot}25}$ oder $\frac{1}{33{\cdot}25}$ Umläufe vollenden. Im weiteren Verlaufe seiner Untersuchungen erklärt er sich für die zweite Annahme, und wurde merkwürdig genug zu diesem Fehlschlusse durch sehr gewichtige Wahrscheinlichkeitsgründe verleitet.

Newton hatte nämlich schon früher nachgewiesen, daß die Bewegung der Novembermeteore bei ihrem Zusammentreffen mit der Erdbahn nahezu senkrecht auf den Radiusvektor vor sich geht. Bei der ersten und letzten Annahme ($2 \pm \frac{1}{33{\cdot}25}$ und $\frac{1}{33{\cdot}25}$ Umläufe in einem Jahre) wird man aber auf sehr exzentrische Bahnen geführt, und da bei solchen nur in der Nähe des Aphels und Perihels die Bewegungsrichtung senkrecht auf dem Radiusvektor steht, muß man überdies annehmen, daß die Novembermeteore beim Durchgange durch den Knoten im ersten Falle zugleich im Aphel, im letzten aber im Perihel stehen, was ein ganz besonderer Zufall wäre, auf den man nicht rechnen darf. Von dieser Beschränkung ist aber die zweite Annahme frei, weil sie auf eine nahe kreisförmige Bahn führt, und sie ist deshalb die wahrscheinlichste.

Übrigens fügt Newton noch folgende Bemerkung bei. Da die Umlaufszeit oder, was auf dasselbe hinausläuft, die halbe große Achse des Meteorstromes auf 5 Werte beschränkt und die Lage des Radiationspunktes bekannt ist, kann man für jeden dieser Werte die Bahn des Ringes berechnen und auch die säkularen Störungen, insbesondere die säkulare Bewegung der Knoten ermitteln, die sie durch die störenden Wirkungen der Planeten erleidet. Die wirkliche Bewegung der Knoten ist aber durch die jährliche Verspätung des Phänomenes gegeben, und wir haben damit offenbar ein einfaches Mittel, zu entscheiden, welche von diesen 5 Perioden die richtige ist.

Diesen Gedanken griff Adams auf und gelangte dabei zu dem Resultate, daß die Annahmen von $2 \pm \frac{1}{33{\cdot}25}$ und $1 \pm \frac{1}{33{\cdot}25}$ Umläufen im Jahre eine

säkulare Knotenbewegung des Ringes ergeben, die kaum halb so groß ist als die beobachtete. Demnach sind bereits 4 von den 5 durch Newton aufgestellten Hypothesen über die Dauer der Periode als unverträglich mit der Beobachtung nachgewiesen, und es erübrigt nur noch, zu prüfen, ob die letzte besser mit der Erfahrung harmoniert. Dies ist in der That der Fall; denn hier stimmt die berechnete Knotenbewegung völlig mit der beobachteten, wodurch jeder Zweifel an der Richtigkeit der Periode von 33·25 Jahren gehoben wird.

Kurze Zeit nach dem großen Meteorschauer von 1866 suchte auch Le Verrier auf folgende scharfsinnige Art die Bahn des Meteorringes zu ermitteln.

Hält man an der Kant-Laplace'schen Nebelhypothese über die Entstehung des Planetensystems fest, so kann eine ziemlich ausgebreitete Anhäufung von Körpern mit retrograder Bewegung wie der Novemberschwarm nicht derselben Bildungsepoche angehören wie die Planeten, sondern muß erst nachträglich in das Innere des Systems gelangt sein. Allein das Phänomen kann auch, kosmisch gesprochen, noch nicht alt sein; denn sonst hätte sich der Haufe bereits vollständig in einen kontinuierlichen Ring aufgelöst.

Le Verrier ist daher der Ansicht, daß der Meteorschwarm erst vor kurzem aus der Tiefe des Weltalls zu uns kam und von Periode zu Periode zu den oberen Planeten zurückkehrt, da, wie die Rechnung zeigt, ein aus großer Ferne (also mindestens mit parabolischer Geschwindigkeit) in die innersten Räume des Systemes eindringender Körper durch die schwache Einwirkung der unteren Planeten nicht in eine Bahn von einem oder zwei Jahren gezwängt werden kann. Nehmen wir also an, daß der Novemberhaufe in einer Bahn von $33^1/_4$ Jahren Umlaufszeit sich bewegt, und daß die Periheldistanz dem Radius 0·989 der Erdbahn für die Zeit der Erscheinung gleichkommt, so finden wir aus dem bekannten Radiationspunkte (Länge 142° und nördliche Breite 8° 30′) und der von Newton festgesetzten Knotenlänge als erste Elemente der Bahn:

Länge des Perihels	51° 18′
= = aufst. Knotens	231 19
Neigung	165 19
Periheldistanz	0·98900
Umlaufszeit	33·25 Jahre.

Der Haufe konnte nur durch eine energische Störung, wie dies etwa bei den periodischen Kometen der Fall ist, in seine jetzige Bahn geworfen werden; andererseits kehren Kometen, die stark gestört wurden, notwendigerweise zu dem Gestirne zurück, von welchem sie jene Einwirkung erfuhren. Von diesem Gesichtspunkte aus muß es überraschen, daß der Novemberschwarm sich nur wenig über die Uranusbahn hinaus erstreckt, umsomehr als diese beiden Bahnen sich nahe in einem Punkte schneiden, der hinter dem Apheldurchgange des Schwarmes und über der Ekliptik liegt. Man ist dadurch veranlaßt, zu untersuchen, wann Uranus und der Haufe sich zugleich in jenem Punkte befunden haben können.

Es läßt sich nun zeigen, daß eine solche Stellung nicht vor dem Jahre 126 n. Chr. eingetreten sein kann, daß aber um den Anfang dieses Jahres sich der Schwarm dem Uranus nähern konnte. Ändert man die Länge des Knotens im Jahre 126 nur um 1^0 48′ und stellt man das Perihel auf etwa 4^0 vom absteigenden Knoten — Größen, die sich mit der Unsicherheit der zu Grunde liegenden Beobachtungen sehr wohl vertragen, — so erhält man ein vollständiges Zusammentreffen von Uranus und Schwarm. Jedenfalls kann man annehmen, daß der Schwarm im Jahre 126 dem Uranus so nahe kam, daß dieser ihn in die elliptische Bahn werfen konnte, die er heute noch hat.

Die eben skizzierten Untersuchungen stellte Le Verrier an, ehe noch der Zusammenhang des Meteorstromes mit dem Kometen 1866 I bekannt war. Nach der Auffindung desselben war es möglich, die Frage über den Anteil des Uranus an dem Ursprunge der Leoniden genauer zu erörtern, wobei Schiaparelli zu dem Resultate kam, daß der Schwarm auch durch Störungen von Saturn oder Jupiter seine jetzige Bahn erhalten haben kann.

Was endlich die periodischen Sternschnuppenfälle Ende November und Anfang Dezember betrifft, die der Herausgeber und wenige Tage nach ihm auch D'Arrest mit dem Biela'schen Kometen in Zusammenhang brachten, so war es längst bekannt, daß die Bahn dieses Kometen die Erdbahn beinahe durchschneidet, und es hatte dieser Umstand, als er zuerst bemerkt wurde, sogar in weiten Kreisen einen panischen Schrecken verursacht (§ 150). In der neueren Zeit waren auch Anfang Dezember mehrfach reichere Sternschnuppenfälle beobachtet worden, wie am 6. Dezember 1798 von Brandes und abermals am 6. Dezember 1838 von P. P. Flaugergues. Im Jahre 1847 bestimmte Heis die Position des thätigsten Radianten während dieser Epoche: gerade Aufsteigung 25^0, nördliche Abweichung 40^0. Nach den Rechnungen des Herausgebers liegt der Radiant für Meteore aus der Bahn des Biela'schen Kometen in: gerade Aufsteigung 25^0, nördliche Abweichung 43^0. Diese nahe Übereinstimmung und der Umstand, den D'Arrest zuerst bemerkte, daß die oben erwähnten reichen Sternschnuppenfälle von 1798 und 1838 gerade um 6 Umläufe des Biela'schen Kometen auseinanderliegen, hebt wohl jeden Zweifel an der Zusammengehörigkeit dieses Kometen mit dem genannten Meteorstrome. D'Arrest machte überdies darauf aufmerksam, daß sich Anfang Dezember bereits mehrmals Meteorsteinfälle zugetragen haben, und ist geneigt, dieselben aus dem Meteorringe der Bielabahn stammen zu lassen.

Genauere Untersuchungen vom Herausgeber haben gezeigt, daß die Knoten des Meteorringes höchst wahrscheinlich eine sehr rasche retrograde Bewegung besitzen, vermöge welcher die Meteorfälle aus diesem Ringe bereits in den November gerückt sind; ferner haben jene Untersuchungen wahrscheinlich gemacht, daß außer dem Biela'schen Kometen noch ein anderer in derselben Bahn einhergeht, der sich früher einmal von ihm abgelöst haben mag. Diese Vermutungen wurden

durch den reichen Meteorfall vom 27. November 1872 vollständig bestätigt, der noch in einer anderen Beziehung hochinteressant wurde.

Man hatte im Jahre 1872 abermals eine Rückkehr des seit 1852 verschollenen Biela'schen Kometen vergeblich erwartet. Als nun am 27. November der reiche Sternschnuppenfall eintrat, hielt sich Klinkerfues zu der Annahme berechtigt, daß der Periheldurchgang des Biela'schen Kometen sich aus einer bisher unbekannten Ursache um mehrere Monate verzögert habe, und daß wir am 27. November mit demselben zusammengetroffen seien. Da in einem solchen Falle, wie eine leichte geometrische Betrachtung zeigt, der Komet einige Tage vorher in dem dem Radiationspunkte seiner Meteore (dessen Lage Klinkerfues: gerade Aufsteigung 26°, nördliche Abweichung 37° bestimmte) und einige Tage nachher im gerade gegenüberliegenden Teile des Himmels d. h. dem Konvergenzpunkte nahezu stationär werden muß, war Hoffnung vorhanden, den Kometen selbst aufzufinden, wenn eine hinreichend südlich gelegene Sternwarte benachrichtigt würde. Klinkerfues telegraphierte deshalb am 30. November nach Madras, daß der Komet Biela bei ϑ Centaur (gerade Aufsteigung 209·6°, südliche Abweichung 35·7°) aufzusuchen sei. Die ersten beiden Nächte nach Empfang des Telegrammes war es in Madras trüb; aber in der dritten Nacht, der vom 2. auf 3. Dezember, fand Pogson sofort an der bezeichneten Stelle einen Kometen, den er am folgenden Morgen nochmals beobachtete, dann aber wegen einer neuerdings eintretenden längeren Periode völliger Trübung nicht mehr sah. Es sind daher von diesem Kometen bloß zwei Beobachtungen gelungen, und eine Bahnbestimmung infolgedessen leider nicht möglich: es scheint aber bei unbefangener Würdigung der Sachlage die Wahrscheinlichkeit fast an Gewißheit zu grenzen, daß er mit dem Sternschnuppenfalle vom 27. November und somit mindestens mit dem Meteorringe des Biela'schen Kometen im Zusammenhange stehe. Allein trotzdem dürfte hierbei doch nur ein neckischer Zufall die Hand im Spiele gehabt haben. Denn am 27. November 1885 ereignete sich neuerdings ein Sternschnuppenregen, welcher wieder von der Andromeda ausstrahlte, und von allen jenen, die das Glück gehabt hatten, auch den von 1872 zu sehen, übereinstimmend als weit bedeutender und großartiger geschildert wird, wie der letztgenannte. In 1885 wurden nun selbstverständlich von den Sternwarten der Südhalbkugel alle Hebel in Bewegung gesetzt, die sich entfernende Meteorwolke in der Nähe ihres Konvergenzpunktes abermals als Kometen wiederzufinden — aber vergeblich. Seither hat sich am 23. November 1892 nochmals ein an Reichtum dem des Jahres 1872 vergleichbarer Meteorschwarm gezeigt, den in seinem Konvergenzpunkte als Nebelmasse zu sehen auch diesmal wieder nicht gelang. Hingegen hatte kurz vorher Holmes in der Nähe des Radiationspunktes der Biela-Meteore einen Kometen aufgefunden (§ 156), der infolgedessen genau ebenso wie 20 Jahre früher der Pogson-Klinkerfues'sche Komet für den Biela'schen gehalten wurde, bis die Bahnberechnungen zeigten, daß er mit diesem in keinem Zusammenhange stehen könne.

Prof. H. A. Newton hat die Berichte über den Sternschnuppenfall des 27. November 1885 sorgfältig gesammelt und einer eingehenden Diskussion unterzogen, deren bemerkenswerteste Resultate dahin zusammengefaßt werden können, daß das Maximum der Erscheinung auf $6^h\ 15^m$ mittl. Greenw. Zeit fiel, und daß schon 3 Stunden vorher und nachher die Häufigkeit der Meteore bereits auf ein Zehnteil herabgesunken war, so daß die Dauer des Durchganges der Erde durch den Hauptteil des Schwarmes auf etwa 6 Stunden zu veranschlagen sein dürfte. Zur Zeit des Maximums erreichte die stündliche Frequenz der Meteore die enorme Zahl von 75 000 für einen Ort und Beobachter. Trotzdem war die Dichtigkeit des Schwarmes noch immer eine sehr geringe, indem erst auf beiläufig je 35 000 kkm (je ein Würfel von 32·7 km oder 4·4 geogr. Meilen Kantenlänge) ein Meteor kommt, und dieser dichteste Teil des Schwarmes war nur 160 000 km (21 500 geogr. Meilen), das Ganze etwa doppelt so breit. Diese Daten machen es wohl mehr als begreiflich, daß alle Versuche fehlschlagen mußten, eine so dünn bevölkerte Meteorwolke, deren einzelne Glieder noch dazu durchschnittlich kaum die Größe kleiner Kieselsteine besitzen (§ 168), in die Tiefen des Weltraumes zu verfolgen.

Die in 1892 eingetretene Verfrühung der Erscheinung um 4 Tage rührt der Hauptsache nach von einer großen Annäherung des Schwarmes in 1889 und 1890 an Jupiter her; eine solche wird in der nächsten Zeit nicht wieder stattfinden, und daher von nun an durch eine Reihe von Jahren das Erscheinen der Biela-Meteore auf den 23. November fallen. Dies gilt bis zum Ende unseres Jahrhundertes (1899), wo wieder ein reicher Sternschnuppenfall aus diesem Strome zu erwarten ist.

Kapitel XV.

Anzahl, Entfernung und Größe der Fixsterne.

§ 173. (Scheinbare Größe und Farbe der Fixsterne.) Schon bei dem ersten Anblick des Himmels bemerken wir eine große Verschiedenheit unter den Sternen, mit welchen er bedeckt ist. Einige unter ihnen sind so hell, daß wir sie gleich nach dem Untergange der Sonne erblicken, während andere erst später, wenn die Nacht mehr vorgerückt ist, sichtbar werden, und wieder andere, noch kleinere, selbst unter den günstigsten Umständen nur durch Fernrohre gesehen werden können.

Wir würden aber wohl sehr irren, wenn wir diese so auffallenden Abstufungen der Fixsterne ausschließlich ihrer wahren Größe oder auch ausschließlich ihrer Entfernung von uns zuschreiben, d. h. wenn wir sagen wollten, daß diejenigen Sterne, welche uns als die größten erscheinen, auch in der That immer die größten sind, oder immer näher bei uns stehen als die anderen.

Wenn wir also doch noch von der Größe der Fixsterne sprechen wollen, so kann dies nur von der scheinbaren Größe, von dem größeren oder geringeren Eindrucke gemeint sein, welchen ihre Lichtstärke auf unser Auge hervorbringt. In diesem Sinne nennen wir Sterne der ersten Größe diejenigen, deren Eindruck auf unser Auge am stärksten ist, und so heißen dann stufenweise abwärts die immer kleineren Sterne der zweiten, dritten bis zur sechsten Größe, unter welchen letzteren wir diejenigen zu verstehen pflegen, die man unter günstigen Umständen noch leicht mit freiem Auge sehen kann.

Außer den mit freien Augen sichtbaren giebt es aber noch eine ungleich größere Menge von Sternen, die man nur durch Fernrohre sehen kann. Man pflegt auch diese letzteren in mehrere Klassen zu teilen, und zwar in desto mehr, je lichtstärker das benützte Fernrohr ist, weil mit der Zunahme dieser Lichtstärke immer wieder zahlreiche neue, noch kleinere Sterne sichtbar werden. Gewöhnlich nimmt man an, daß man mit einem Fernrohre von 16 cm (6 par. Zoll) Öffnung zu den mit freiem Auge sichtbaren noch weitere 6 Klassen, also im Ganzen 12 Fixsternklassen erkennt, deren scheinbare Größe immer abnimmt, wie die Zahl ihrer Klasse zunimmt. Setzt man nun, wie es jetzt allgemein üblich ist, die Zahl 2·5 für das Verhältnis an, in dem jede höhere Sternklasse schwächer leuchtet, als die nächstvorhergehende, so erforderte ein Stern 15. Größe etwa einen Refraktor von 64 cm Öffnung, während Sterne 16. Größe erst in einem Refraktor von 100 cm Öffnung sichtbar würden.

Die Bestimmung der Helligkeit der Gestirne bildet schon seit mehr als 2000 Jahren einen Gegenstand der Beobachtung, indem bereits der Sternkatalog im Almagest die relative Helligkeit oder die Größenklasse von etwas mehr als 1000 Sternen enthält. Dabei begnügte man sich aber meistens mit bloßen, oft wenig sicheren Angaben, indem man die Helligkeitsschätzungen in der Regel nicht als Hauptsache betrachtete, sondern nur bei Gelegenheit anderer Arbeiten, beispielsweise Ortsbestimmungen der Sterne, vornahm. Erst im Jahre 1840 hat Argelander für die in Bonn mit freiem Auge sichtbaren Sterne systematische Helligkeitsschätzungen ausgeführt, wodurch seine Uranometrie die Grundlage aller seitherigen genaueren Arbeiten dieser Art, wie der von J. Herschel, Heis, Bermann, Houzeau, Gould u. a. geworden ist. Übrigens ließ man es sich seit etwa 2 Jahrhunderten auch angelegen sein, Apparate zur Messung der Helligkeit der Sterne zu erfinden, aber alle Bemühungen von Huyghens, Bouguer und Lambert angefangen, bis in unsere Tage zu denen von C. Steinheil, Schwerd, Zöllner u. a. herab, hatten für die allgemeine Kenntnis der Sterngrößen nur geringen Erfolg, teils weil die zum Teil höchst sinnreich erdachten Photometer praktisch wenig brauchbar waren, teils weil keine Anwendung davon im Großen gemacht wurde. Erst Pritchard in Oxford und namentlich Pickering auf der Sternwarte des Harvard College in Cambridge Mass. haben seit 1880 mit eigens von ihnen dazu ersonnenen Instrumenten systematische Beobachtungsreihen zur

Bestimmung der Helligkeiten der Gestirne unternommen, von denen die des letztgenannten unsere Kenntnisse in dieser Richtung auch bezüglich der Helligkeit der teleskopischen Sterne wesentlich erweitert haben.

Wir lassen nun eine Übersicht der Größe, bis auf Zehnteile einer Klasse, und der daraus sich ergebenden relativen Helligkeit aller jener Sterne folgen, welche in unseren Breiten sichtbar sind, und gewöhnlich der ersten und zweiten Größe beigezählt werden, müssen aber dieser Übersicht zur Erläuterung der sonderbaren Angabe negativer Größen nachstehendes vorausschicken.

Unter die erste Größe werden Sterne von so verschiedener Helligkeit eingereiht, daß diese Größenklasse eigentlich in mehrere getrennt werden sollte. Die mittlere Helligkeit der Sterne dieser Gruppe kommt beiläufig der von Atair (α Adler) gleich. Betrachtet man diesen als Normalstern erster Größe, und bezeichnet man ihn demgemäß als Stern von der Größe 1·0, so gebührt dem Prinzip zufolge, daß die helleren Sterne eine geringere Zahl als Größe erhalten, einem Sterne, der 2·5 mal so hell ist, als Atair die Größe 0·0, und einem, der abermals 2·5mal so hell ist als ein Stern der Größe 0·0, die Größe — 1·0 u. s. w.

Name	Größe	Helligkeit	Name	Größe	Helligkeit	Name	Größe	Helligkeit
Sirius	—1·4	9·12	ε großer Hund	1·6	0·58	α Hyder	2·2	0·33
Arcturus	+0·1	2·29	γ Orion	1·8	0·48	α Widder	2·2	0·33
Kapella	0·2	2·09	ε =	1·8	0·48	ζ großer Bär	2·2	0·33
Rigel	0·2	2·09	ζ =	1·8	0·48	δ Orion*	2·2	0·33
Wega	0·4	1·74	β Stier	1·9	0·44	γ Andromeda*	2·2	0·33
Prokyon	0·6	1·45	η großer Bär	1·9	0·44	γ Löwe*	2·2	0·33
Beteugeuze	0·8	1·20	ε = =	1·9	0·44	β = *	2·2	0·33
Aldebaran	1·0	1·00	α = =	2·0	0·40	α Schlangenträger*	2·2	0·33
Atair	1·0	1·00	α Perseus	2·0	0·40	γ Kassiopeja*	2·2	0·33
Antares	1·1	0·91	β Fuhrmann	2·0	0·40	β Andromeda*	2·2	0·33
Spica	1·2	0·83	δ großer Hund	2·0	0·40	β Walfisch*	2·3	0·30
Pollux	1·2	0·83	α Andromeda	2·1	0·36	α Krone*	2·3	0·30
Fomalhaut	1·3	0·76	Polarstern	2·1	0·36	β Kassiopeja*	2·4	0·28
Regulus	1·4	0·69	γ Zwillinge	2·1	0·36	β großer Bär*	2·4	0·28
Deneb	1·6	0·58	β kleiner Bär*	2·1	0·36	γ = = *	2·5	0·25
Kastor	1·6	0·58	β großer Hund	2·2	0·33	α Pegasus*	2·5	0·25

Die vorstehenden Sterne sind Pickering's Zusammenstellung der scheinbaren Größen der hellsten Sterne entnommen, abgesehen von jenen, die mit einem Asterisk versehen sind und dort fehlen: sie sind zur Ergänzung hinzugefügt worden. Als Größe der ersteren ist Pickering's Mittelwert aller bisherigen verläßlichen derartigen Schätzungen angesetzt; als Größe der letzteren das Mittel der Bestimmungen Pickering's und Pritchard's. Aus diesen Größen ist die Helligkeit berechnet, unter Annahme der von Pogson eingeführten Verhältniszahl 2·5 für die Abnahme der Lichtstärke von einer Sterngröße zur nächsthöheren, wobei weiter auch noch die Lichtstärke unseres Normalsternes erster Größe der Einheit gleichgesetzt wurde.

Zur Vervollständigung dieses Verzeichnisses fügen wir, ebenfalls nach Picke-

ring's oben angezogener Arbeit die Größen der hellsten, bei uns unsichtbaren Sterne des südlichen Himmels bei: sie stützen sich auf J. Herschel's Beobachtungen am Kap und die Gould's in Cordoba.

Name	Größe	Helligkeit	Name	Größe	Helligkeit	Name	Größe	Helligkeit
Canopus	−0·8	5·25	β Kreuz	1·5	0·63	ε Argo.	2·0	0·40
α Centaur	−0·1	2·76	α Kranich	1·8	0·48	θ Scorpion	2·1	0·36
Achernar	+0·6	1·45	γ Kreuz	1·8	0·48	θ Centaur	2·1	0·36
β Centaur	0·8	1·20	λ Scorpion	1·9	0·44	α südl. Dreieck . .	2·1	0·36
α Kreuz	0·9	1·10	β Argo	1·9	0·44	α Pfau	2·1	0·36
			γ = ...	2·0	0·40			

Zur bildlichen Darstellung der Sterne im richtigen Verhältnis ihrer Wahrnehmbarkeit etwa durch Scheiben müßte man diesen Scheiben nach Steinheil folgende Durchmesser geben, wenn man deren Durchmesser für einen mittleren Stern erster Größe als Einheit annimmt:

1. Größe . .	1·00	4. Größe . .	0·21
2. = . .	0·60	5. = . .	0·12
3. = . .	0·35	6. = . .	0·07

Eine solche Darstellung hat für Sternkarten, die zu rein wissenschaftlichen Zwecken und in sehr großem Maßstabe entworfen werden, allerdings viel für sich; für Himmelskarten in kleinem Maßstabe müßte man aber die Scheiben der hellsten Sterne unausführbar groß machen: wir haben daher auf unseren Planigloben des Himmels (Taf. I u. II) die gewöhnliche Bezeichnungsart, welche für die helleren Sterne das durch optische Täuschung im freien Auge hervortretende strahlenförmige Erscheinen der Sterne nachahmt, beibehalten. Bei dieser Gelegenheit sei auch erwähnt, daß dem Gradnetz diejenige Lage gegeben wurde, die es am Ende unseres Jahrhunderts (1900) haben wird, und daß auch alle in diesem Abschnitte vorkommenden Positionsangaben sich auf dieselbe Epoche beziehen.

Außer den Abstufungen im Glanze der Sterne zeigt auch bereits ein flüchtiger Anblick des Himmels, daß uns nicht alle farbloses Licht zusenden. Noch deutlicher tritt dies in lichtstarken Fernrohren hervor, wo sich fast jeder hellere Stern einem für Farbeneindrücke empfindlichen Auge durch eine eigentümliche, wenn auch meistens nur schwache, Färbung charakterisiert. So sind z. B. jetzt unter den Sternen erster Größe Sirius, Wega, Deneb, Regulus und Spica entschieden weiß. Gelbes und gelbliches Licht haben Procyon, Atair, der Polarstern und besonders β im kleinen Bären, während unter anderen η in der Leier bläulich ist. Dagegen zeichnen sich, wie schon Ptolemäus bemerkte, Aldebaran, Antares Beteugeuze (α Orion), und nach Rümker auch γ im Kreuze durch ihr rotes Licht aus.

§ 174. (Veränderungen der Größe und Farbe der Fixsterne.) Der Mangel an Genauigkeit bei den früheren Bestimmungen der relativen Helligkeit der Fixsterne ist sehr zu beklagen, weil uns dadurch die Mittel entgehen, die Veränderungen genauer anzugeben und zu verfolgen, welche an manchen dieser Himmelskörper vorgegangen

zu sein scheinen. So wurde z. B. der Stern α in der Wasserschlange (Hyder) von den Alten zur ersten Klasse gezählt, da er doch jetzt nur zu den schwächeren der zweiten gerechnet werden kann. Ebenso scheinen die 7 schönen Sterne im Sternbilde des großen Bären ihr Licht immerfort zu ändern, so daß bald dieser, bald jener als der größte von ihnen erscheint. Der Stern δ in dem bekannten Vierecke dieses Sternbildes gehört jetzt nur noch zur vierten Klasse, da ihn doch Tycho Brahe noch in die zweite setzte. Wir kommen weiter unten in einem eigenen Kapitel auf diesen Gegenstand zurück.

Allein nicht bloß die Größe, sondern auch die Farbe scheint sich bei manchen Sternen bleibend zu ändern, wobei man am häufigsten Sirius als Beispiel nennt, da er von Ptolemäus unter den roten Sternen angeführt und an verschiedenen anderen Stellen alter Autoren ebenfalls als rot bezeichnet wird. Doch hat man die diesem Sterne beigelegten Epitheta vielfach auch auf andere Eigenthümlichkeiten desselben, als auf seine Farbe zu beziehen versucht, und namentlich in den beiden letzten Decennien, auf triftige Bemerkungen von Schjellerup gestützt, sich ziemlich allgemein der Ansicht zugeneigt, daß die angebliche Beobachtung von Ptolemäus diesem von späteren Bearbeitern des Almagest unterschoben wurde. Eine Zusammenstellung aller hierauf bezüglichen Citate und kritische Besprechung derselben durch See hat aber zu dem Resultate geführt, daß Sirius im Altertume in der That ein roter Stern war, während er jetzt in der Regel weiß, zuweilen aber auch bläulich (Seidel) oder gelbgrün (Olbers) befunden wird. In ähnlicher Weise zählt der vortreffliche Beobachter Abd-al-Rahmah (§ 179) β Perseus (Algol) im 10. Jahrhundert den roten Sternen zu, während derselbe heute im reinsten Weiß glänzt. Ein weiteres Beispiel dürfte auch der Begleiter von γ Delphin bieten. Endlich hatte Arctur, der früher zu den rötesten Sternen des Himmels gezählt wurde, nach Schmidt diese Farbe um die Mitte unseres Jahrhunderts fast ganz verloren, scheint aber jetzt nach und nach wieder röter zu werden.

Einen vorübergehenden, sich jeden Abend wiederholenden Farbenwechsel, der zugleich mit plötzlicher Lichtab- und Zunahme verbunden ist, kennt jedermann in dem sogenannten Funkeln der Sterne. Diese Erscheinung ist aber keine, den Sternen eigentümliche: sie wird, wie bereits an einem anderen Orte eingehender besprochen wurde, (I § 107) erst durch eine unregelmäßige Brechung und Zerstreuung des Lichtes in unserer Atmosphäre hervorgerufen. Auf eine ähnliche Weise dürften auch die kurz periodischen Farbenänderungen zu erklären sein, die vor mehreren Decennien einige Beobachter wie Klein in Köln und Weber in Peckeloh an mehreren Sternen des großen Bären, besonders aber an α und β wahrzunehmen glaubten.

§ 175. (Historische Notizen bezüglich der Parallaxe der Fixsterne.) Wir haben bereits in der ersten Abteilung § 44 hervorgehoben, daß die Bestimmung der Entfernung der Fixsterne, oder was auf dasselbe hinauskommt, ihrer jährlichen Parallaxe mit dem Momente ein Problem der allergrößten Tragweite wurde, als Kopernicus

sein Planetensystem aufstellte, weil es damals noch an einem auffallenden Beweise für die Richtigkeit desselben fehlte und das Auffinden einer Fixsternparallaxe einen solchen geliefert hätte. Es darf uns daher nicht Wunder nehmen, daß Freund und Feind mit dem größten Eifer die diesbezüglichen Untersuchungen aufnahmen und unermüdlich fortsetzten: einerseits um durch das Auffinden einer jährlichen Parallaxe der Fixsterne die Lehre des Kopernicus unumstößlich zu erhärten, anderseits um sie durch das Beibringen des Nachweises der Nichtexistenz einer solchen als irrig darzustellen. In unseren Tagen hat diese Frage in jener Beziehung längst ihre Bedeutung verloren, wird aber in Rücksicht auf unsere Kenntnis der Ausdehnung des Weltraumes stets eine von der äußersten Wichtigkeit bleiben. Es dürfte daher nicht unangemessen sein, hier eine kurze Geschichte der betreffenden Bemühungen der Astronomen mitzuteilen.

Schon Galilei war auf ein Mittel bedacht, die Parallaxe der Fixsterne zu bestimmen, und schlug dazu die Beobachtung des Verschwindens eines Sternes erster Größe hinter einem, einige Meilen entfernten Turme zu verschiedenen Zeiten des Jahres vor. Allein der Vorschlag blieb unausgeführt und würde auch wegen der großen Unsicherheit aller derartigen Beobachtungen kein Resultat geliefert haben. Später beschäftigten sich Tycho de Brahe und Riccioli fleißig mit diesen Untersuchungen: aber auch ihre Quadranten waren noch immer viel zu unvollkommen, um damit so kleine Größen bestimmen zu können.

Zu Ende des 17. Jahrhunderts nahm der berühmte englische Geometer Wallis diesen Gegenstand wieder vor. Er befestigte das Objektiv eines Fernrohrs von sehr großer Brennweite an der Spitze eines Turmes und beobachtete durch ein in die Wand seines Hauses eingemauertes Okular die Differenz der Azimute größerer Sterne zu verschiedenen Jahreszeiten. Er wollte durch dieses Verfahren vorzüglich die Störungen der Refraktion (1. Abt. Kap. XI) vermeiden: allein auch er fand nichts Entscheidendes, obschon er seinen Gegenstand über 40 Jahre verfolgte. Bald darauf wollte Rowley dieselben Beobachtungen an einem der Türme der Paulskirche in London wiederholen, aber Newton soll die Ausführung gehindert haben, weil er besorgte, daß das ohnehin nicht zweckmäßige Verfahren durch sein wahrscheinliches Mißlingen die neue Lehre bei den weniger Unterrichteten in Mißkredit bringen könnte.

Newton's Zeitgenosse und Rivale, Hooke, suchte denselben Zweck durch ein festgemauertes Fernrohr von 12 m Fokal-Länge zu erreichen; aber die damit angestellten Beobachtungen waren wieder zu ungenau, um von denselben eine Beantwortung der Frage zu erwarten. Flamsteed beobachtete um das Jahr 1690 an seinem sechsfüßigen Mauerquadranten in Greenwich durch längere Zeit den Polarstern und wollte eine nicht unbeträchtliche Parallaxe dieses Sterns gefunden haben. Allein Dominique Cassini zeigte, daß die von Flamsteed bemerkten Veränderungen des Sterns mit denjenigen nicht übereinstimmen, welche aus einer richtigen Theorie der Parallaxe folgen, und daß sie daher aus ganz

anderen Ursachen abgeleitet werden müssen. Der Däne Römer, dem die praktische Astronomie so viel verdankt, zeigte zuerst, daß die beobachteten Rektascensionen der Sterne zu jenem Zwecke viel geschickter sind als die von Flamsteed angewandten Zenithdistanzen, und verfolgte diesen Gegenstand durch 18 Jahre, wurde aber vor der Beendigung der Reduktion seiner Beobachtungen, die übrigens auch nur ein negatives Resultat lieferten, vom Tode überrascht. Auch Bradley, Flamsteeds Nachfolger in Greenwich, bestrebte sich mit großem Eifer, Fixsternparallaxen zu ermitteln, fand aber statt derselben zwei andere merkwürdige Bewegungen der Fixsterne, die Aberration und Nutation (1. Abt. Kap. VI u. VII), von denen die eine den ersten direkten Beweis der Bewegung der Erde um die Sonne lieferte. Die Parallaxe selbst erklärte Bradley seinen Beobachtungen zufolge für unmerklich.

Zu Anfang des gegenwärtigen Jahrhunderts beschäftigten sich vorzüglich Piazzi und Calandrelli mit der Beantwortung dieser Frage. Piazzi in Palermo wählte wieder die Beobachtungen der Zenithdistanzen, und fand die Parallaxe der Capella und mehrerer anderer Fixsterne der ersten Größe sehr nahe gleich Null; die des Sirius aber wollte er 4″ groß gefunden haben. Aber abgesehen davon, daß Sirius für Europa zu Untersuchungen dieser Art sich wenig eignet, da er für alle Sternwarten dieses Weltteiles in einer zu geringen Höhe durch den Meridian geht, stimmen alle seitherigen Beobachtungen nicht damit überein: es scheint daher, daß die Veränderungen, die Piazzi zu verschiedenen Jahreszeiten in der Lage dieses, sowie einiger anderer Sterne, z. B. des Polarsternes fand, ihren eigentlichen Grund in den Veränderungen des Gebäudes hatten, in welchem sein Instrument aufgestellt war, indem dieses, wie jedes Gebäude, durch die teilweise Bescheinigung von der Sonne und durch die verschiedene Temperatur der Jahreszeiten periodische Veränderungen seiner Lage erfuhr, deren Folgen er, ohne die Ursache derselben zu kennen, auf den Himmel übertrug.

Calandrelli in Rom beobachtete um das Jahr 1805 zu diesem Zwecke besonders den schönen Stern Wega in der Leier, der nahe durch das Zenith jener Stadt geht. Er wählte dazu einen Sektor von 3 m Halbmesser, und seine mit vieler Umsicht angestellten und unter sich gut harmonierenden Beobachtungen gaben die Parallaxe dieses Sternes gleich 4·4″. Allein Bessel in Königsberg, der nach Calandrelli denselben Stern untersuchte, fand aus Bradley's Beobachtungen der Rektascensionen sogar die Summe der Parallaxen für Wega und Sirius gleich Null; für Atair im Adler und Procyon im kleinen Hund erhielt er zur Summe der Parallaxen nur die sehr geringe Größen von 0·6″. Er wählte zu seinen Untersuchungen sehr zweckmäßig solche Sternpaare, die nahe in demselben Parallelkreis liegen und in Rektascension nahe um 180° verschieden sind, weil für solche Sterne zu derselben Zeit, wo die Rektascension des einen durch die Parallaxe am meisten verkleinert, die des andern durch dieselbe am meisten vergrößert wird. (1. Abt., § 45)

In dem ersten Dritteile unseres Jahrhunderts beschäftigten sich auch noch Brinkley, Pond, W. Struve u. A. mit diesem Probleme: trotz dieser vielfachen Bemühungen wurde aber eigentlich bloß das Resultat erzielt, daß keiner der untersuchten Sterne eine merkliche Parallaxe habe. Wenn man daher bis dahin auch zu keinem positiven Resultate gelangt war, konnte man doch so viel sagen, daß, wenn die jährliche Parallaxe eines der untersuchten Sterne auch nur eine Bogensekunde betragen hätte, dies unseren Beobachtungen nicht hätte entgehen können. Die jährliche Parallaxe aller dieser, und wohl auch der übrigen Sterne muß daher kleiner als 1″ sein. Sehen wir nun zunächst zu, in welche Entfernung dies die Fixsterne hinaus rückt.

Die jährliche Parallaxe eines Fixsternes beträgt 1″, heißt mit anderen Worten, daß der Halbmesser der Erdbahn vom Sterne aus unter einem Winkel von 1″ gesehen wird (1. Abt., S. 104). Seine Entfernung ist deshalb gleich dem Halbmesser der Erdbahn dividiert durch den Sinus seiner Parallaxe (S. 97), hier also durch Sin. 1″. Nehmen wir daher den Halbmesser der Erdbahn zu 150 Millionen km an, so giebt dies in runder Zahl eine Distanz von 31 Billionen km. Daraus folgt also, daß der nächste Fixstern mehr als 31 Billionen km oder rund 200 000 mal weiter als die Sonne von uns entfernt ist. Eine solche Entfernung von 31 Billionen km, d. h. eine solche, aus welcher der Halbmesser der Erdbahn unter dem Winkel 1″ erscheint, wollen wir kürze halber Sternweite nennen, und in dieser Einheit in gleicher Weise die Entfernungen im Fixsternraume ausdrücken, wie wir durch die Entfernung der Sonne von der Erde, die Erdweite, die Distanzen in unserem Sonnensysteme auszudrücken pflegen.

Wir haben schon mehrfach hervorgehoben, daß bereits eine Erdweite eine so ungeheuer große Strecke ist, daß wir uns keine sinnliche Vorstellung mehr von derselben machen können: wie sollen wir uns daher erst eine adäquate Vorstellung von einer Sternweite bilden? Sie verhält sich zu einem Kilometer wie 1 Million Jahre zu einer Sekunde: ein schnell segelndes Schiff, das 12 Seemeilen oder $22^1/_4$ km in der Stunde zurücklegt, würde gegen 160 Millionen Jahre, und selbst ein Expreßtrain mit einer Fahrgeschwindigkeit von 90 km in der Stunde, noch immer 39 Millionen Jahre brauchen, diese Distanz zu durcheilen. Aber auch diese Zahlen sind noch viel zu groß, um die wahrhaft ungeheuere Größe einer Sternweite unserer Vorstellung näher zu bringen: dies vermag erst die Schnelligkeit des Lichtes. Denn selbst das Licht, das mit seiner unbegreiflichen Geschwindigkeit von 300 000 km in einer Sekunde eine Erdweite bereits in $8^m\ 18^s$ durchfliegt, benötigt, um aus einer Sternweite bis zu uns zu gelangen, $3^1/_4$ Jahre! Und selbst die nächsten Fixsterne sind unseren Erfahrungen zufolge noch weiter von uns entfernt als eine Sternweite: die entferntesten uns sichtbaren können vielleicht noch viele tausend Male weiter sein: es ist deshalb nicht nur möglich, sondern sogar wahrscheinlich, daß es Fixsterne giebt, von welchen das Licht, ungeachtet seiner an das Entsetzliche grenzenden Geschwindigkeit, erst in Jahrtausenden bis zu uns

gelangt, so daß seit der Zeit unseres Moses oder Alexander am Himmel totale Veränderungen vorgegangen sein können, von welchen wir noch immer keine Kunde haben, weil das Licht, der Bote, der sie uns bringen soll, seitdem noch nicht Zeit gehabt hat, aus jenem Raume bis zu uns zu gelangen.

Wie es sich aber auch mit jenen uns leider noch ganz unbekannten Gegenden verhalten mag, — das eine geht aus unseren Beobachtungen klar hervor, daß die Fixsterne alle in solchen Entfernungen von uns stehen, daß selbst für die uns nächsten die Distanz der Sonne von der Erde nur als ein für unsere Sinne unteilbarer Punkt erscheint. Wie weit sich jenseits dieser nächsten Sterne nach allen Seiten der Weltraum und jenes unabsehbare Heer von Sonnen erstreckt, wird uns wohl immer unbekannt bleiben. Alles, was uns von dem unermeßlichen Himmelsbau noch einigermaßen zu kennen erlaubt ist, bezieht sich auf die kleine Kolonie, die sich um unsere Sonne angebaut hat, die uns zunächst umgiebt, und zu der die Erde, unser Wohnort, selbst gehört. Die Stelle, auf welcher sich diese Kolonie niedergelassen hat, ist ein kleiner Kreis von 63 Trillionen qkm, in dessen Mitte die Sonne wohnt und an dessen äußerster Grenze, 4500 Millionen km von der Sonne, sich der Planet Neptun angesiedelt hat. Ein kleiner Kreis, sagen wir, denn schon der nächste Nachbar, der nächste der uns umgebenden Fixsterne, sieht den Halbmesser dieses Kreises unter einem kleineren Winkel als 30″, also kaum so groß, wie uns der Halbmesser des Planeten Jupiter erscheint, wenn er uns am nächsten steht. Zwischen der äußersten Grenze, die unserer kleinen Sonnenfamilie in dem Weltraume angewiesen ist, und zwischen den nächsten Sternen findet sich nach allen Seiten hin eine unabsehbare Wüste, eine rings um unser Planetensystem laufende, leere Zone, deren Breite mehr als 31 Billionen km beträgt, die also 7000mal breiter als der Halbmesser des unserer Kolonie angewiesenen Kreises ist. Wie es gekommen ist, daß die einzelnen Länder dieses Reiches durch solche Wüsten von einander getrennt sind, wird uns wohl immer ein Geheimnis bleiben.

Ehe wir weiter gehen, wollen wir noch bemerken, daß man die Entfernung eines Fixsternes von bekannter jährlicher Parallaxe in Erdweiten erhält, wenn man die Einheit durch diese Parallaxe dividiert. Man pflegt aber zuweilen die Entfernung der Fixsterne in Lichtzeit anzugeben, worunter man die Zeit versteht, welche das Licht braucht, um von dem Sterne zu uns zu gelangen. Diese Zeit beträgt dem Obigen zufolge $3^1/_4$, oder genauer 3·24 Jahre: man erhält also, wie man leicht erkennt, die Lichtzeit in Jahren, wenn man die Entfernung in Sternweiten mit 3·24 multipliziert.

§ 176. (Endliche Auffindung von Fixsternparallaxen.) Die Bemühungen, Fixsternparallaxen durch direkte Beobachtungen von Zenithdistanzen oder Rektascensionen zu ermitteln, haben hauptsächlich mit dem Hindernisse zu kämpfen, daß man die durch die Parallaxe hervorgebrachten Ortsveränderungen aus Beobachtungen herleiten soll, die beiläufig ein halbes Jahr auseinader liegen. Die Änderungen,

die in dieser Zwischenzeit, teils in den Instrumenten selbst, teils im Zustande unserer Atmosphäre vorgehen, teils aus anderen störenden Ursachen entspringen, involvieren aber so viele Unsicherheiten, daß durch diese das Bestimmen so kleiner Größen, wie die sind, um welche es sich hier handelt, wenigstens sehr erschwert, wenn nicht ganz unmöglich gemacht wird. Nachdem nun alle bisherigen Bestrebungen daran gescheitert waren, schlug J. Herschel zu diesem Zwecke die Beobachtung optischer Doppelsterne, d. h. solcher Sterne vor, die zwar in verschiedenen Entfernungen von der Erde, aber auf einer gemeinschaftlichen Gesichtslinie, also hintereinander sich befinden und deshalb für uns sehr nahe aneinander zu stehen scheinen, da bei solchen eine Ortsveränderung der Erde auch die scheinbare gegenseitige Distanz jener Sterne ändern müßte. Jeder dieser beiden Sterne scheint nämlich infolge der jährlichen Bewegung der Erde eine kleine Ellipse am Himmel zu beschreiben, die der Durchschnitt der Himmelsfläche mit einem schiefen elliptischen Kegel ist, der seinen Scheitel in dem Sterne und seine Basis in dem Umkreise der Erdbahn hat. Diese Ellipse wird für den entfernteren der beiden Sterne viel kleiner als für den anderen sein. Mißt man daher zu verschiedenen Zeiten des Jahres die Distanz der beiden Sterne sowohl als auch die Lage, welche die sie verbindende gerade Linie mit der Ebene des Äquators bildet, und bemerkt man in diesen beiden Größen periodische Änderungen, so wird man leicht sehen, ob diese Änderungen mit der Theorie der Parallaxe übereinstimmen.

Diese Methode ist ganz unabhängig von allen Fehlern, denen jede Beobachtung der Zenithdistanz oder der Rektascension unterworfen ist, und sie empfiehlt sich vorzüglich dadurch, daß die Refraktion (1. Abt. Kap. XII), dieses große Hindernis aller genauen Beobachtungen, auf die Resultate keinen Einfluß hat, weil sie die Position zweier sehr naher Sterne, offenbar in demselben Maße beeinflußt. Aber sie setzt voraus, daß die Duplizität dieser Sterne nur scheinbar ist, was indessen nur selten stattfindet, indem, wie wir später sehen werden, so gut wie alle doppelten Sterne nicht bloß scheinbar, sondern in der That sehr nahe bei einander stehen und Sternsysteme am Himmel bilden, bei denen der eine Stern um den andern kreist, wie die Planeten um die Sonne.

Übrigens kennt man immerhin mehrere Doppelsterne, die sicher nur scheinbar zusammengehören, und hat an einigen dieser die Methode mit Glück versucht. Schon W. Struve erzielte in den Jahren 1835 bis 1839 ein ziemlich sicheres Ergebnis an Wega, deren Parallaxe er zu 0·26″ bestimmte, und fast gleichzeitig (1837 bis 1840) wurde ein zweiter glücklicher Versuch der Art von Bessel in Königsberg zustande gebracht. Er wählte den Stern 61 des Schwanes, einen Doppelstern ungefähr sechster Größe, auf dessen sehr große Eigenbewegung (§ 183) Piazzi zuerst aufmerksam machte. Da nämlich die Eigenbewegungen der Fixsterne offenbar Folgen von Ortsveränderungen sind, welche entweder die Sterne selbst oder unser Sonnensystem oder, was wohl das wahrscheinlichste ist, beide zugleich erfahren, so ist klar, daß ein Stern, der eine bestimmte Bewegung

im Raume besitzt, im allgemeinen eine um so größere scheinbare Bewegung an der Himmelssphäre zeigen muß, je kleiner seine Entfernung von uns ist. Man ist zwar nicht berechtigt, den Rückschluß zu machen, daß jeder Stern, der eine größere eigene Bewegung am Himmel zeigt, auch näher sein müsse; allein da wir gar kein bestimmtes und untrügliches Kennzeichen besitzen, wonach wir die größere oder geringere Entfernung der Fixsterne beurteilen könnten, so ist es wohl am natürlichsten, die näheren Fixsterne zunächst unter denjenigen aufzusuchen, welche eine rasche Bewegung zeigen, und dies umsomehr, wenn sie zu den hellen Sternen gehören. Aus diesem Grunde wählte Bessel den Stern 61 des Schwanes, bestimmte aufs sorgfältigste den scheinbaren Abstand desselben von zwei in der Nähe befindlichen kleineren Sternen neunter Größe und setzte diese Beobachtungen über ein Jahr lang fort, um die ganze Periode der Parallaxe zu umfassen. In den gemessenen Distanzen zeigten sich nun sehr deutlich kleine Veränderungen, welche demselben Gesetze folgten, nach welchem eine jährliche Parallaxe diese Distanzen ändern mußte. Bessel fand durch Berechnung der sämtlichen Messungen: jährliche Parallaxe von 61 Schwan = 0·348″.

Dieses Sternenpaar ist seither noch vielfach in bezug auf seine Parallaxe untersucht worden: alle späteren, vertrauenswürdigen Beobachtungsreihen haben aber für dieselbe einen erheblich größeren Wert als den Bessel'schen ergeben, so daß nicht daran zu zweifeln ist, daß dieser noch durch kleine, unbekannte Fehler entstellt ist. So fand für die jährliche Parallaxe von 61 Schwan O. Struve: 0·51″, Auwers: 0·57″, Ball: 0·47″, Hall: 0·48″; Pritchard auf photographischem Wege: 0·43″ u. s. w. Wir werden daher kaum viel fehlgehen, wenn wir die Parallaxe von 61 Schwan rund zu 0·50″ und damit seine Entfernung auf 2 Sternweiten oder 6·5 Jahre Lichtzeit ansetzen.

Der ersten gelungenen Parallaxenbestimmung folgte eine zweite auf dem Fuße, indem unmittelbar darauf Henderson seine Meridianbeobachtungen von α Centauri aus den Jahren 1832 und 1833 bekannt machte, die auf eine Parallaxe von etwa 1″ hindeuteten. Obwohl nun zahlreiche Beobachtungen von Maclear zwischen 1840 und 1849 dieses Resultat zu bestätigen schienen, und auch Mösta aus seinen Beobachtungen in St. Jago de Chile eine solche von 0·88″ folgerte, erwiesen sich diese Werte späterhin doch als zu groß, indem nach sehr sorgfältigen Heliometermessungen von Gill und Elkin am Kap, die Parallaxe dieses Sternes von 0·75″ kaum erheblich abweichen kann. Dieser prächtige Doppelstern der Südhalbkugel ist nun trotz der Reduktion seiner Parallaxe auf $^3/_4$″, doch, soweit bisher bekannt, noch immer unser nächster Nachbar im Fixsternraume.

Außer den ebengenannten Parallaxenbestimmungen haben in den folgenden Decennien noch verschiedene Astronomen solche an einer Reihe anderer Sterne ausgeführt: in den letzten 3 Lustren aber namentlich Ball, Gill, Elkin, Kapteyn u. A. sich besondere Verdienste um diesen Zweig der Sternkunde erworben. Auch

die Photographie wurde bereits von Rutherford mit glücklichem Erfolge zu diesen Untersuchungen herangezogen, und diese Methode in der Mitte der achtziger Jahre von Pritchard auf eine größere Anzahl von Sternen ausgedehnt. Durch alle diese Bemühungen haben wir jetzt schon von etwa 50 Sternen die Parallaxen kennen gelernt, von denen allerdings die meisten wegen der Schwierigkeit des Gegenstandes wohl nur als eine erste, noch dazu bloß rohe Annäherung zu betrachten sein dürften. Wir haben hier einen Teil der beachtenswertesten dieser Parallaxenbestimmungen zusammengestellt, und bemerken dazu nur noch, daß bei Doppelsternen wie α Centaur, 61 Schwan, 70 p Ophiuchus u. s. w. die Größe der helleren Componente angegeben ist, und die Positionen der Sterne sich auf das Jahr 1900 beziehen.

Stern	Größe	Rektasc.	Decl.	Jährl. Bew.	Parall.	Entfernung in Sternw.	Lichtzt.
α Centaur . . .	1	$14^h\ 32{\cdot}8^m$	$-60^0\ 25'$	3·67″	0·75″	1·33	4·3 Jhr.
61 Schwan . . .	5·6	21 2·4	+38 15	5·16	0·50	2·00	6·5
21 185 Lalande . .	7·8	10 57·9	+36 38	4·75	0·48	2·08	6·7
Capella	1	5 9·3	+45 54	0·43	0·39	2·56	8·3
Sirius	1	6 40·7	−16 35	1·33	0·38	2·63	8·5
34 Groombridge .	8	0 12·7	+43 27	2·81	0·31	3·23	10·5
Prokyon	1	7 34·1	+ 5 29	1·25	0·28	3·57	11·6
1 618 Groombridge	6·7	10 5·3	+49 58	1·43	0·26	3·85	12·5
η Cassiopeja . . .	4	0 43·0	+57 17	1·19	0·26	3·85	12·5
σ Drache	5	19 32·5	+69 29	1·93	0·24	4·17	13·5
3 077 Bradley . .	6	23 8·5	+56 37	2·09	0·24	4·17	13·5
21 258 Lalande . .	8·9	11 0·5	+44 2	4·40	0·23	4·35	14·1
17 414 Arg. Öltzen .	9	17 37·0	+68 26	1·27	0·22	4·55	14·7
ε Indianer . . .	4	21 55·7	−57 12	4·70	0·22	4·55	14·7
Atair	1	19 45·9	+ 8 36	0·65	0·19	5·26	17·0
0_2 Eridanus . . .	4·5	4 10·7	− 7 49	4·11	0·19	5·26	17·0
70 p Ophiuchus .	4	18 0·4	+ 2 31	1·11	0·17	5·88	19·1
Wega	1	18 33·6	+38 41	0·36	0·16	6·25	20·3
1 830 Groombridge	7	11 47·2	+38 26	7·05	0·15	6·67	21·6

Nach dieser Tabelle zu urteilen hat sich die Hypothese, daß die hellsten Sterne uns besonders nahe stehen, im allgemeinen nicht bewährt; es scheinen im Gegenteil die nächsten Nachbarn unserer Sonne zu den schwächer leuchtenden Fixsternen zu gehören. Ebenso hat 1830 Groombridge, dessen Eigenbewegung die größte bisher bekannte ist, einen Beweis für die Bedenklichkeit des Schlusses aus starker Eigenbewegung auf die Nähe des Gestirnes geliefert, wie denn auch unter den Sternen 1. Größe, der nach α Centaur am stärksten bewegte Arctur mit 2·28″ jährlicher Bewegung keine merkbare Parallaxe verrät. Es läßt sich in der That auch denken, wie zuerst Schiaparelli hervorhob, daß die uns nächsten Sterne

einer Art Sternsystem mit nahe gleicher Bewegung angehören: sie würden dann eine relativ geringe Eigenbewegung zeigen, und es wären nach dieser Auffassung gerade die uns nächsten Sterne nicht unter den stark bewegten zu suchen. Ähnliche Überlegungen veranlaßten Ball eine systematische Nachforschung nach Fixsternparallaxen zu unternehmen, indem er sich einen größeren Katalog von roten veränderlichen, stark bewegten, und noch aus verschiedenen anderen Gründen ausgewählten Sternen anlegte, und diese zu den Zeiten des Maximaleffektes der Parallaxe (1. Abt., § 45) beobachtete. Nach dieser Methode untersuchte Ball im Ganzen 368 Sterne, stieß aber dabei nur auf zwei größere Parallaxen. Man kann daher jetzt wohl schon mit einer ziemlichen Sicherheit annehmen, daß nur sehr wenige Fixsterne in einer kleineren Distanz als 2 Sternweiten von uns abstehen.

§ 177. (Wahre Größe der Fixsterne.) Noch weniger weit als in der Kenntnis der Entfernungen der Fixsterne sind wir darin in Bezug auf die wahre Größe dieser Himmelskörper vorgedrungen, weil sich ihre scheinbare Größe, d. h. der Winkel, welchen ihr Durchmesser an unserem Auge bildet, seiner ungemeinen Kleinheit wegen, unseren Messungen völlig entzieht. Zwar erscheinen Sirius, Kapella, Arctur und andere Gestirne der ersten Größe mit ihrem lebhaften Lichte dem freien Auge von nicht unbeträchtlicher Größe, aber das scintillierende Licht, welches sie rings umgiebt, ist nicht der Kern, der eigentliche Körper des Sternes, sondern nur ein nach allen Seiten überfließendes parasitisches Licht, dessen Ursprung nicht sowohl in dem Sterne als vielmehr in der Unvollkommenheit unseres Auges zu suchen ist, daher denn auch im allgemeinen die Fixsterne immer kleiner, immer mehr als eigentliche Punkte erscheinen, je vollkommener das Fernrohr ist, durch welches man sie betrachtet. Daß übrigens diese Gestirne in der That nur Dimensionen besitzen, die für unsere Meßapparate unmeßbar klein sind, hat Stéphan nach einer Idee von Fizeau an den Beugungsfransen der Fixsterne experimentell nachgewiesen: man ersieht es aber auch leicht aus den nachstehenden Betrachtungen, die uns außerdem mindestens zu einer genäherten Schätzung der scheinbaren Durchmesser dieser Gestirne verhelfen.

Nehmen wir in Ermangelung besserer Daten an, daß die Sterne im Durchschnitte eine gleiche Leuchtkraft besitzen, d. h. daß gleich große Flächenstücke der Oberfläche verschiedener Sterne gleiche Lichtquantitäten ausstrahlen, — eine Annahme, die mindestens nichts unwahrscheinliches an sich hat, so können wir daraus unschwer das Verhältnis der Halbmesser der einzelnen Sternklassen finden. Haben nämlich zwei Sterne die Halbmesser h und H, die Lichtstärken i und J, und die Größe m und M, so besteht unter der obigen Voraussetzung zunächst die Proportion: $i : J = h^2 : H^2$, weil die Oberflächen zweier Kugeln sich wie die Quadrate ihrer Halbmesser verhalten. Da ferner das Verhältnis, um welches jede höhere Größenklasse schwächer leuchtet als die frühere, für alle Sternklassen als dasselbe und gewöhnlich als 2·5 (§ 173) angenommen wird, besteht auch die

Proportion $i : J = 2{\cdot}5^M : 2{\cdot}5^m$, deren Verbindung mit der früheren die weitere $h^2 : H^2 = 2{\cdot}5^M : 2{\cdot}5^m$ liefert, welche nach h aufgelöst, ergiebt:

$$h = \frac{H \cdot \sqrt{2{\cdot}5^M}}{\sqrt{2{\cdot}5^m}} = \frac{1{\cdot}5811^M}{1{\cdot}5811^m} H.$$

Könnten wir uns nun für irgend einen Fixstern, dessen Halbmesser H wir kennen, mindestens näherungsweise seine Größe M verschaffen, so wären in der obigen Gleichung alle nötigen Daten vorhanden, um den mittleren Halbmesser der Sterne einer beliebigen Größenklasse zu berechnen. Das oben geforderte können wir aber bei unserer Sonne leisten.

Der Halbmesser H unserer Sonne ist uns sehr genau bekannt: er ist $H = 962''$; es handelt sich also jetzt nur noch um die Ermittelung ihrer Sterngröße. Diese können wir uns aber unter der Voraussetzung, daß die Sonne dieselbe Leuchtkraft besitzt wie im Mittel die Sterne, aus den photometrischen Messungen des Verhältnisses der Lichtstärke von Sonne und Gestirnen ableiten. Lassen wir hier die älteren, noch mit sehr unvollkommenen Hilfsmitteln erhaltenen Bestimmungen von Herschel und Wollaston beiseite, so haben in neuerer Zeit das Verhältnis der Lichtstärke von Sonne und Sirius nach ganz verschiedenen Methoden Steinheil, Bond und Clarke bestimmt zu 3840, 5971 und 3600, also im Mittel zu 4470 Millionen. Ferner ist oben (§ 173) Sirius 9·12 mal heller als ein mittlerer Stern 1. Größe angegeben worden, wonach die Sonne 40766 Millionen mal heller leuchtet als ein solcher Stern, was in Größenklassen ausgedrückt, 26·7 oder in runder Zahl 27 beträgt. Einen ähnlichen Wert für diese Größe hat Gore vor kurzem auf folgendem Wege erhalten. Aus der Größe und Entfernung eines Planeten von der Sonne kann man den Bruchteil des Sonnenlichtes berechnen, der auf ihn fällt; und dieser, mittelst der Albedo des Planeten (§ 71) reduciert, gestattet es die Helligkeit der Sonne gegen die des Planeten festzustellen, und aus dessen bekannter Stellargröße, auf die eben angegebene Art, zur Stellargröße der Sonne zu gelangen. Wir werden daher schwerlich viel fehl gehen, wenn wir annehmen, daß die Sonne um 27 Größenklassen heller sei, als die Sterne 1. Größe, oder der Sonne die Größe 1—27 = — 26 beilegen, da bekanntlich die helleren Sterne die kleineren Nummern erhalten. Setzt man also in unsere Formel die Zahlenwerte $H = 962''$ $M = -26$ ein, so wird in Bogensekunden ausgedrückt:

$$h = \frac{0{\cdot}00645}{1{\cdot}5811^m}.$$

Darnach wären also die scheinbaren Halbmesser der Sterne:

1. Größe . .	0·00408″	4. Größe . .	0·00103″
2. = . .	0·00258	5. = . .	0·00065
3. = . .	0·00163	6. = . .	0·00041

Als Grenze der mit unseren heutigen Refraktoren sichtbaren Sterne kann

man etwa die 15. Größenklasse ansehen (§ 173); diesen Sternen entspricht ein scheinbarer Halbmesser von nur 0·0000067″!

Wir können uns nun auch noch die Frage vorlegen, in welcher Sterngröße uns denn die Sonne erscheinen würde, falls sie in die Entfernung eines bestimmten Sternes gebracht würde.

Da die Lichtstärke mit der Entfernung von der Lichtquelle im umgekehrten quadratischen Verhältnisse abnimmt, so sinkt die Lichtstärke J in der Entfernung einer Erdweite auf $i = J : r^2$ in der Entfernung r herab. Ist aber p die jährliche Parallaxe eines Sternes, so ist dessen Entfernung in Erdweiten $r = 1 : \sin p$ (§ 175) daher $i = J \sin^2 p$. Aus der schon einmal verwendeten Proportion $i : J = 2{\cdot}5^M : 2{\cdot}5^m$ folgt aber, wenn wir die Lichtstärke der Sterne 1. Größe der Einheit gleichsetzen, also für $M = 1$ $J = 1$ annehmen, $i = 2{\cdot}5 : 2{\cdot}5^m = 1 : 2{\cdot}5^{m-1}$. Man hat daher die Sterngröße der Sonne zu ermitteln aus der Gleichung:

$$2{\cdot}5^{m-1} = \frac{1}{J \sin^2 p} = \frac{1}{40\,766\,000\,000 \sin^2 p}.$$

Berechnet man nach dieser Formel, wie groß die Sonne bei verschiedenen für die Parallaxe angenommenen Werten erscheinen würde, so erhalten wir

bei p	Sterngröße der Sonne	bei p	Sterngröße der Sonne
0·50″	2·56	0·25″	4·07
0·45	2·79	0·20	4·56
0·40	3·05	0·15	5·19
0·35	3·34	0·10	6·07
0·30	3·67	0·05	7·59

Vergleicht man diese Zahlen mit den Größen der Sterne, deren Parallaxe wir oben (§ 176) angegeben haben, so ersieht man, daß die Sonne an Leuchtkraft übertroffen wird von den 7 Sternen: α Centaur, Kapella, Sirius, Prokyon, Atair, Wega und 70 p Ophiuchus; daß sie darin nahe gleich steht: η Cassiopeja, σ Drache, ε Indianer und 0_2 Eridanus, daß sie hingegen die übrigen 8 Sterne an Leuchtkraft überragt, so daß sie im ganzen genommen zu den Sternen mittlerer Helligkeit gehören dürfte.

So klein übrigens die Helligkeiten der Fixsterne im Vergleiche mit der unserer Sonne sind, gelang es doch mittels sehr empfindlicher Thermosäulen, deutliche Spuren von Erwärmung nachzuweisen, die durch die Fixsterne auf unserer Erde erzeugt wird. Zuerst glückte dies dem unermüdlichen Huggins an Sirius, Pollux, Regulus und Arctur. Später fand Stone auf ähnlichem Wege, daß diese Wirkung bei Arctur 0·00000137, bei Wega 0·00000092 eines Grades Fahrenheit beträgt, oder mit anderen Worten: daß Arctur und Wega in einer Höhe von 25° über dem Horizonte von Greenwich gleich viel Wärme erzeugen wie ein Würfel kochendes Wasser von 8 cm Seite in der Entfernung von bezw. 366 und 548 m. Feuchtigkeit in der Luft vermindert diese Wärme bedeutend,

die dünnste Wolke schneidet dieselbe ganz ab. Stone vermutet, daß der Unterschied zwischen den beiden genannten Sternen daher rührt, daß die roten wärmenden Strahlen in der Atmosphäre von Wega stärker absorbiert werden als bei dem rötlichen Arctur.

§ 178. (Physikalische Beschaffenheit der Sterne.) Wenn die enormen Entfernungen, um welche die Fixsterne von der Erde getrennt sind, uns in den eben besprochenen Beziehungen auf mehr oder weniger glückliche Vermutungen beschränken, so hat uns die Spektralanalyse, die von dem Abstande des untersuchten Objektes unabhängig ist, einen tieferen Einblick in die chemische Konstitution jener fernen Welten vergönnt; ja sie leistet ihrer Natur nach gerade bei ihnen mehr als bei den Planeten unseres Sonnensystems, da diese nur mit erborgtem Lichte leuchten, und infolgedessen der Hauptsache nach auch nur das Sonnenspektrum reflektieren. Ehe wir aber darauf eingehen, wollen wir zur Ergänzung dessen, was wir bei der Betrachtung des Sonnenspektrums (§ 8) über das Wesen der Spektralanalyse beigebracht haben, noch folgendes beifügen.

Unter den dunklen Linien im Sonnenspektrum, zu denen man keine korrespondierenden hellen in den Spektren irdischer Stoffe kannte, zog besonders eine die Aufmerksamkeit der Astrophysiker auf sich. Sie liegt in einem geringen Abstande von der Doppellinie D_1 D_2 (Fig. 44 einfach als D bezeichnet) des Natriums, und wurde deshalb als D_3 bezeichnet, während man den unbekannten Stoff, dem sie angehört, wegen seines Vorkommens auf der Sonne, den Namen Helium beilegte.

Die Heliumlinie tritt in der Chromosphäre der Sonne stets in Verbindung mit den Linien des Wasserstoffes auf, (§ 26) und es gab sich eine innigere Verwandschaft des ihm angehörigen Körpers mit diesem noch dadurch kund, daß sie auch in einigen jener wenigen Sterne sich vorfand, in deren Spektrum die Wasserstofflinien hell erscheinen.

In der ersten Hälfte von 1895 ist es nun Ramsay gelungen, aus dem seltenen Minerale Cleveit ein Gas abzuscheiden, in dessen Spektrum die Heliumlinie D_3 besonders hell hervortritt, worauf die eingehenden Untersuchungen des Spektrums dieses Gases durch Runge und Paschen des weiteren die Thatsache ans Licht stellten, daß in demselben auch noch eine Reihe anderer Linien vorkommt, die mit solchen im Sonnenspektrum zusammenfallen, welche bisher noch nicht mit denen irdischer Stoffe hatten identifiziert werden können. Nebenbei sei auch noch bemerkt, daß nach den Untersuchungen von Runge das Cleveitgas kein einfacher Körper zu sein scheint, sondern aus zwei Elementen bestehen dürfte, die indes vorläufig noch nicht getrennt werden konnten; einem schwereren, dem eigentlichen Helium, und einem leichteren.

Sind diese Entdeckungen schon an und für sich interessant genug, so gewinnen sie noch dadurch wesentlich an Bedeutung, daß es H. C. Vogel gelungen ist, die stärkeren Heliumlinien in einer großen Anzahl von Sternen, namentlich

den gewöhnlich als weiß bezeichneten, nachzuweisen, und damit zu zeigen, daß dieses auf der Erde so spärlich vorkommende Gas im Weltraume eine sehr bedeutende Rolle spielt.

Die Rudimente der Spektralanalyse reichen, wie bereits einmal (§ 8) bemerkt wurde, weiter zurück, als man gemeiniglich annimmt. So wußte bereits Fraunhofer, daß die Spektra der Fixsterne nicht nur unter einander sehr verschieden sind, sondern zum Teile auch erheblich vom Sonnenspektrum abweichen: doch konnte man daraus keine weiteren Schlüsse ziehen, ehe Kirchhoff die Entstehung der dunklen Linien im Spektrum und damit ihre Bedeutung erkannte. Darauf hin haben 1864 zunächst Huggins und Miller eine methodische Untersuchung der Fixsternspektra vorgenommen, aus der hervorging, daß diese Körper ebenfalls großenteils aus denselben Stoffen gebildet sind, die wir in der Sonne finden und an unserer Erde kennen; ja der Umstand, daß die in der Fixsternwelt am weitesten verbreiteten Elemente, wie Wasserstoff, Calcium, Natrium, Magnesium, Eisen u. s. w. zu denjenigen gehören, welche das Leben organischer Wesen auf unserer Erde bedingen, läßt vermuten, daß die Natur wenigstens sehr vieler Fixsterne und ihrer Planeten von der unseres Sonnensystems nicht wesentlich verschieden sei.

Bald nach Huggins hat auch Secchi die Spektra der Fixsterne zum Gegenstande seiner Studien gemacht und gelangte durch seine Untersuchungen bereits zu dem Resultate, daß die Sternspektra sich alle auf wenige typische Formen zurückführen lassen, deren er 4 annahm. Diesen Vorkämpfern schlossen sich weiterhin D'Arrest, H. C. Vogel, Dunér, Lockyer, Pickering u. A. an, welche diese Untersuchungen weiter fortführten. Einen besonderen Aufschwung haben dieselben aber in den letzten Jahren genommen, seit es gelungen ist, die Fixsternspektra zu photographieren, was das Ausmessen derselben wesentlich erleichtert.

Secchi's vier Typen der Fixsternspektra hat H. C. Vogel auf drei reduziert, indem er die des 3. und 4. Typus in eine Klasse zusammenzieht, dafür aber jede seiner drei Klassen in mehrere Abteilungen zerlegt, wie folgt:

I. Klasse.

Kontinuierliche Spektra, deren brechbarere Teile, Blau und Violett, durch Intensität besonders auffallen. Die Spektra sind durchsetzt von der ganzen Reihe der Wasserstofflinien, die als dunkle, breite, verwaschene, seltener scharf begrenzte und dann schmälere Absorptionslinien erscheinen, und im Allgemeinen die außerdem in den Spektren sich zeigenden Linien anderer Metalle an Intensität erheblich übertreffen. Sehr selten treten die Wasserstofflinien und die Linien anderer Stoffe nicht als Absorptionslinien auf und erscheinen dann als helle Linien auf kontinuierlichem Spektralgrunde.

a) Spektra, in denen die Wasserstofflinien dominieren, die des Cleveitgases aber nicht zu erkennen sind. Diese Gruppe zerfällt in 3 Unterabteilungen:

a_1) Spektra, in denen nur die Wasserstofflinien als breite, stark entwickelte Linien erscheinen, andere Spektrallinien aber nicht vorkommen.

a_2) Spektra, in denen neben den Wasserstofflinien noch Linien von anderen Metallen, namentlich Calcium, Magnesium und Natrium, auftreten; die Spektrallinien der anderen Metalle sind jedoch nur zart und bei Anwendung geringerer Zerstreuung schwer zu erkennen.

a_3) Spektra, in denen die Linien verschiedener Metalle, besonders auch die des Eisens, bereits zahlreich und kräftig hervortreten, und die eine Hauptlinie des Calciums (im äußersten Violett) zuweilen sogar mit den Wasserstofflinien von nahe gleicher Intensität erscheint. Diese Unterabteilung bildet den direkten Übergang zur Spektralklasse II.

b) Spektra, in denen neben den stets dominierenden Wasserstofflinien die Linien des Cleveitgases erscheinen. Außerdem treten in den Spektren dieser Abteilung mehr oder minder zahlreich die Calcium, Magnesium, Natrium und Eisenlinien auf.

c) Spektra mit hellen Linien. Diese zerfallen in 2 Unterabteilungen:

c_1) Spektra, in denen bloß helle Wasserstofflinien vorhanden sind.

c_2) Spektra, in denen außer den Wasserstofflinien noch die Linien des Cleveitgases, und Linien von Calcium, Magnesium und anderen Metallen hell erscheinen.

II. Klasse.

Spektra, in denen die Metall-Linien sehr deutlich auftreten. Die brechbareren Teile des Spektrums sind im Vergleiche zur vorigen Klasse matter. In den weniger brechbaren Teilen des Spektrums treten zuweilen schwache Banden auf.

a) Spektra mit sehr zahlreichen Metall-Linien, die besonders im Gelb und Grün durch ihre Intensität leicht kenntlich werden. Die Wasserstofflinien sind meist kräftig, aber nie so auffallend verbreitert wie bei Klasse Ia. Bei einigen Sternen sind die Wasserstofflinien schwach, und bei solchen sind dann gewöhnlich in den weniger brechbaren Teilen schwache Banden zu erkennen. (Secchi's Typus II.)

b) Spektra, in denen außer dunklen Linien und einzelnen schwachen Banden helle Linien auftreten.

III. Klasse.

Spektra, in denen außer dunklen Linien noch zahlreiche dunkle Banden in allen Teilen des Spektrums auftreten und die brechbareren Teile des Spektrums auffallend schwach sind.

a) Außer dunklen Linien sind in den Spektren Banden zu erkennen, von denen die auffallendsten nach Violett hin dunkel und scharf begrenzt, nach Rot hin matt und verwaschen erscheinen. (Secchi's Typus III.)

b) Spektra, in denen dunkle, sehr breite Banden zu erkennen sind, von denen die am stärksten hervortretenden nach Rot hin scharf begrenzt und am dunkelsten sind, nach Violett hin allmählich erblassen. Sie erscheinen also nach der entgegengesetzten Seite verwaschen, wie die Banden in den Spektren der vorigen Unterabteilung; auch ist ihre Anzahl geringer als dort. Das Blau und Violett ist gewöhnlich überaus schwach. (Secchi's Typus IV.)

Zur Klasse I gehören alle jene Sterne, welche dem freien Auge oder, wenn sie teleskopisch sind, im Fernrohre weiß erscheinen. Doch kommen nur die Sterne der ersten Unterabteilung (Ia) zahlreich am Himmel vor; zu dieser Unterabteilung gehören die meisten Sterne der ersten Größe wie Sirius, Wega, Atair, Deneb, Regulus u. s. w. und auch so viele aus kleineren Sterngrößen, daß derselben mehr als die Hälfte aller bisher untersuchten Sternspektra zuzurechnen sind.

Sehr selten hingegen sind Spektra der Klasse Ib und namentlich solche der Klasse Ic. Zu der ersteren gehören die Sterne β, γ, δ, ε Orion und noch mehrere andere desselben Sternbildes, ferner Algol und Spica; von der zweiten sind bisher überhaupt außer einigen teleskopischen Sternen nur zwei Repräsentanten bekannt: β Leier und η Cassiopeja.

Die zweite Klasse umfaßt die gelben Sterne. Der wichtigste Vertreter der ersten Unterabteilung dieser Klasse (IIa) ist unsere Sonne selbst; ferner gehören ihr an: Capella, Arctur, Aldebaran, der Polarstern u. s. w., kurz etwa $^1/_3$ der Sternspektra. Die zweite Abteilung (IIb) ist wieder sehr sparsam am Himmel vertreten; doch gehören ihr außer ein paar Sternen im Schwan noch an: der veränderliche R Zwillinge und der im Jahre 1866 neu aufgetauchte Stern T Krone, also sehr interessante Gestirne.

Zur dritten Klasse gehören die roten Sterne. Die erste Unterabteilung dieser Klasse (IIIa), Secchi's Typus III oder, wie er ihn auch nennt, Säulentypus, begreift unter anderen α Herkules, β Pegasus, Beteugeuze, Mira Ceti und die meisten veränderlichen Sterne (Kap. XVII). Auch in dieser Klasse kommt die höchst interessante Unterabteilung IIIb sehr selten vor und ist bisher nur an teleskopischen Sternen aufgefunden worden.

Auf Taf. XIV sind die Spektra der verschiedenen Typen abgebildet, und zur Vergleichung ist das Spektrum der Sonne beigegeben, wodurch die große Ähnlichkeit desselben mit dem Spektrum des Typus II sofort in die Augen fällt. Im unteren Teile des Sonnenspektrums sind auch die hellen Linien der Chromosphäre und der Protuberanzen ersichtlich gemacht; die kurzen gehören nämlich der Chromosphäre, die langen den Protuberanzen an.

Nach den Prinzipien der Spektralanalyse ist der Zustand der Glühhitze bei den Sternen der I. Klasse noch ein so bedeutender, daß die in ihren Atmosphären enthaltenen Metalldämpfe nur eine sehr geringe Absorption ausüben können, so

daß entweder noch keine oder nur äußerst zarte Linien im Spektrum sichtbar werden. Bei den Sternen der Klasse II, zu denen, wie bereits oben bemerkt wurde, auch unsere Sonne gehört, sind die sie umgebenden Atmosphären schon so stark abgekühlt, daß sie sich durch kräftige Absorptionslinien im Spektrum kundgeben. Der dritte Typus enthält jene Sterne, deren Glühhitze so weit erniedrigt ist, daß schon Assoziationen der Stoffe, aus denen ihre Atmosphären bestehen, in denselben vorkommen können. Denn nach unseren bisherigen Erfahrungen erzeugen nur zusammengesetzte Stoffe mehr oder weniger breite Absorptionsstreifen. Wir können daher wohl annehmen, daß die Sterne der ersten Klasse zu den jüngsten gehören, und daß die der dritten Klasse in ihrer Entwickelung bereits am weitesten fortgeschritten sind. Die genaue Untersuchung der Spektra der Sterne dritter Klasse und namentlich jener der Unterabteilung b böte daher ein besonderes Interesse dar; sie ist aber leider wegen der geringen Leuchtkraft aller der letzten Kategorie angehörigen Sterne mit großen Schwierigkeiten verknüpft. Doch ist es Prof. Vogel gelungen, am sehr lichtstarken großen Refraktor der Wiener Sternwarte nachzuweisen, daß in den Atmosphären der Sterne des Typus IIIb Kohlenwasserstoffe vorhanden sind, und daß deren elektive Absorption die charakteristischen Banden dieser Spektra hervorruft.

Die Thatsache, daß die Spektrallinien zwar im allgemeinen bei höherer Temperatur kräftiger und breiter hervortreten, daß sie aber zuweilen auch das entgegengesetzte Verhalten zeigen, nämlich bei steigender Temperatur schwächer und schmäler werden, bietet auch, worauf Scheiner zuerst hinwies, ein Mittel dar, die Temperatur der absorbierenden Schichten (Photosphären) der Sterne näherungsweise zu schätzen. Im Spektrum des frei brennenden Magnesiums und im Spektrum des Bogenlichtes (Temperatur 3000° bis 4000°) ist eine Magnesiumlinie im Blau (Wellenlänge 0·000448 mm) nicht zu erkennen, sie erreicht jedoch im Funkenspektrum der Leidner Flasche (obere Temperatur etwa 15 000°) eine sehr große Intensität und Breite. Eine benachbarte, gegen das Dunkelblau hin gelegene Linie (Wellenlänge 0·000435 mm) hingegen zeigt die umgekehrten Erscheinungen: im Magnesiumspektrum des elektrischen Bogens ist sie sehr kräftig und breit, im Funkenspektrum aber kaum oder gar nicht mehr zu erkennen.

In den Spektren der Klasse I tritt die erstgenannte Linie durch Breite und Intensität stark hervor, die letztgenannte fehlt ganz: in den Spektren der Klasse II und in dem der Sonne ist die erstere nur noch schwach sichtbar, dafür aber die letztere zum teil sehr hervorragend, während sie in den Spektren der Klasse III nur noch allein und zwar als eine der stärksten Linien vorhanden ist. Man kann daraus schließen, daß die Temperatur der obersten Schicht der Photosphäre auf den Sternen der Klasse I annähernd gleich ist der Temperatur des Funkens der Leidner Flasche; auf den Sternen der Klasse II liegt sie zwischen dieser und der Temperatur des elektrischen Bogenlichtes und auf denen der Klasse III ist sie bereits auf die letztere herabgesunken.

§ 179. (Anzahl der Sterne.) Bereits in den ältesten Zeiten waren die Astronomen darauf bedacht, Sternverzeichnisse anzulegen, hauptsächlich in der Absicht, ihren Nachkommen die Möglichkeit zu liefern, etwaige Veränderungen am Fixsternhimmel zu erkennen, wie auch in der That das plötzliche Aufleuchten eines Sternes Hipparch zur Abfassung seines Sternkatalogs veranlaßt haben soll. Dieser Katalog enthielt etwas mehr als 1000 Sterne, ist jedoch nicht auf uns gekommen, so daß der älteste jetzt vorhandene Sternkatalog der von Ptolemäus, mit 1028 Sternen, ist, in welchem wir vielleicht nur eine Reproduktion des Hipparch'schen Verzeichnisses vor uns haben, auf welches die Alten die Stelle Virgil's anwendeten, wo von Palinurus, dem Steuermanne des Aeneas, gesagt wird: Sidera cuncta notat tacito labentia coelo.

Im 10. Jahrhundert unserer Zeitrechnung unterzog der Perser Abd-al-Rahman Al-Sûfi den Ptolemäischen Katalog einer ganz auf Autopsie beruhenden Revision, die, wie Schjellerup uns zeigte, so genau durchgeführt wurde, daß sie erst in unseren Tagen an Argelander's „Uranometrie" einen würdigen Rivalen fand. Nach diesem stellte zunächst ein Sternverzeichnis Ulugh-Bey zusammen, der in seiner Residenz Samarkand um 1437 n. Chr. alle Sterne des Ptolemäischen Kataloges von neuem beobachtete. In Europa war Tycho de Brahe der erste, welcher im Anfange des 17. Jahrhunderts einen genaueren Sternkatalog von 1005 Sternen verfaßte, während Joh. Bayer, als mutiger Verteidiger seiner Glaubensgenossen Os protestantium genannt, nahe gleichzeitig die erste größere Sternkartensammlung (Uranometria) in 51 Blättern mit einem Katalog von 1706 Sternen herausgab und die noch heute übliche Bezeichnung der einzelnen Gestirne mit griechischen und lateinischen Buchstaben einführte, worauf im Jahre 1690 der Katalog von Hevel mit 1564 Sternen folgte. Auch der letztgenannte ist noch ohne Zuhilfenahme des Fernrohres verfertigt, enthält daher nur dem unbewaffneten Auge sichtbare Sterne, aber bloß einen Teil derselben, da mit den damaligen Instrumenten (Diopter ꝛc.) nur die helleren beobachtet werden konnten. Die Anzahl der mit freiem Auge sichtbaren Sterne wechselt übrigens mit individuellen und klimatischen Verschiedenheiten außerordentlich, weil die Zahl der Sterne mit der Abnahme ihrer Helligkeit ungemein rasch zunimmt und deshalb schon ein nur wenig schärferes Auge oder eine nur um ein geringes größere Klarheit des Himmels eine große Menge neuer Sterne sichtbar macht. So sind in unseren Breiten nach Argelander, der sein Auge für ein normales hielt, etwa 3300 Sterne sichtbar, während Heis in Münster auf demselben Himmelsraume mit seinen ungewöhnlich scharfen Augen 5421 Sterne sah. Houzeau, dessen Auge dem Argelanders an Güte nahezu gleich gewesen zu sein scheint, hat während eines mehrjährigen Aufenthaltes innerhalb der Tropen alle am ganzen Himmel mit freiem Auge sichtbaren Sterne aufgenommen, und gefunden:

	Anzahl der Sterne		
	Nördlich vom Äquator	Südlich	Total
Größe 1	11	9	20
= 2	26	25	51
= 3	88	112	200
= 4	277	318	595
= 5	595	618	1213
= 6	1919	1721	3640

Darnach wären nördlich vom Äquator im Ganzen 2916 und südlich von demselben 2803, sowie am ganzen Himmel 5719 Sterne mit freiem Auge sichtbar, und die südliche Halbkugel des Himmels für die helleren Sterne beiläufig ebenso sternreich wie die nördliche.

An die mit freiem Auge sichtbaren Sterne schließt sich nun noch die unvergleichlich größere Zahl der teleskopischen Sterne an: die Sternverzeichnisse, welche mit Hilfe des Fernrohres angelegt wurden, enthalten daher eine weitaus größere Zahl von Sternen, als die der Alten. Das erste dieser, das auch bezüglich seiner Genauigkeit den Anforderungen der Neuzeit wenigstens einigermaßen entspricht, ist das von Flamsteed, in dessen Historia coelestis Britannica mit 2866 Sternen: ihm folgten in der Mitte des vorigen Jahrhunderts die vorzüglichen Sternkataloge von Bradley und T. Mayer, denen in unserem zahlreiche weitere sich angereiht haben. Man kann dieselben in drei Klassen teilen, deren erste durch vollständige, in der Regel mehrmals wiederholte Meridianbeobachtungen desselben Sternes die äußerste Genauigkeit in den Ortsangaben anstrebt. In diese Kategorie gehören unter anderem die Kataloge von Piazzi, Taylor, Rümker, Johnson, Stone, Gould u. s. w., in denen die Positionen von etwa 70 000 von einander verschiedenen Sternen enthalten sind. Die zweite Klasse umfaßt die aus Zonenbeobachtungen zusammengestellten Sternkataloge. Bei diesen wird der Himmel in Zonen von mäßiger Breite abgeteilt und in jeder dieser Zonen eine thunlichst große Anzahl von Sternen nach einer Methode beobachtet, die ein rasches Arbeiten gestattet, dabei aber noch immer einen erheblichen Grad von Genauigkeit gewährt. Die ersten derartigen Beobachtungen rühren von Lacaille und Lalande her; diesen folgten Bessel, Argelander, Lamont; ferner Zonenbeobachtungen auf den Sternwarten in Washington und Wien und zuletzt die sehr umfangreichen Arbeiten von Gould, die sich größtenteils auf Sterne beziehen, welche in unseren Breiten unsichtbar sind. Diese Arbeiten haben etwa 150 bis 160 Tausend Sternpositionen geliefert. Als dritte Kategorie sind zu nennen die sogenannten Durchmusterungen, deren Ziel dahin geht, alle am Himmel vorhandenen Sterne bis zu einer bestimmten Größenklasse herab näherungsweise aufzunehmen. Das Vorbild für solche Arbeiten hat uns Argelander geliefert, der es sich zur Aufgabe stellte, sämtliche Sterne des nördlichen Himmels bis zur

9. Größe vollständig und möglichst viele der Zwischenklasse 9. bis 10. Größe: mit anderen Worten alle Sterne, die in einem Fernrohre von etwa 8 cm (3 Pariser Zoll) Öffnung sichtbar sind, vom Nordpole bis 2° südlicher Deklination zu verzeichnen und auf Grundlage dieses Verzeichnisses neue Himmelskarten zu entwerfen. Dieses erstaunliche Werk wurde unter der Mitwirkung von Schönfeld und Krüger auch glücklich zu Ende geführt, und lieferte 324 198 Sternpositionen. Später hat Schönfeld allein die Durchmusterung des Himmels bis zum Wendekreis des Steinbocks (23° südlicher Deklination) fortgeführt, und dadurch weitere 133 580 Sterne hinzugefügt, während den Abschluß dieser Arbeiten, die Durchmusterung des Himmels von Schönfeld's Südgrenze bis zum Südpole hinab, durch Thomé auf der Sternwarte zu Cordoba nicht nur in Angriff genommen, sondern auch bereits sehr weit gefördert worden ist.

Auf Grundlage der Durchmusterungen des Himmels von Argelander und Schönfeld hat die Astronomische Gesellschaft eine genaue Ortsbestimmung aller Sterne bis zur Größe 9·0 vom Nordpole des Himmels bis zum 23° südlicher Breite durch Kooperation einer Reihe von Sternwarten organisiert. Die Beobachtungen und deren Berechnung für den Teil des Himmels, den Argelanders Durchmusterung umfaßt, sind bereits vollendet und zum teil publiziert; während für den südlicheren Teil des Himmels die Beobachtungen in vollem Gange sich befinden. Der daraus entstehende Katalog wird im ganzen 140 bis 145 Tausend Sterne enthalten, und dürfte so ziemlich die Grenze dessen darstellen, was man mittels der alten Beobachtungsmethoden zu leisten imstande ist. Die Fortschritte der Astrophotographie, welche es seit 1885 gestatten, mit hierzu geeigneten Instrumenten bei einer Expositionszeit von etwa 1^h alle Sterne, welche in unseren stärksten Refraktoren sichtbar sind, d. h. selbst die Sterne 15. bis 16. Größe (§ 173) aufzunehmen, reifte in dem damaligen Direktor der Pariser Sternwarte, Admiral Mouchez, den großartigen Plan der Herstellung einer Karte des gesamten Himmels, welche alle mit unseren stärksten Fernrohren noch sichtbaren Sterne umfassen soll. Da er sich aber sehr wohl bewußt war, daß die Ausführung einer solchen Arbeit die Kräfte einer einzelnen Sternwarte weitaus überschreite, bemühte er sich, dieselbe zu einem großen internationalen Unternehmen umzugestalten und ließ zu diesem Zwecke durch die Pariser Akademie die gesamte astronomische Welt zu einem Kongresse zusammenrufen, um die Grundprinzipien festzulegen, nach denen das Werk angelegt und ausgeführt werden soll. Zu dieser Konferenz entsendeten auch die Regierungen und Akademien fast aller Kulturvölker ihre Vertreter: es strömte daher eine so große Zahl berühmter Männer aus allen Teilen des Erdballes zusammen, daß die Konferenz sich wohl zu dem glänzendsten astronomischen Kongresse gestaltete, der je abgehalten wurde. Zur Orientierung über die Größe und den Umfang des geplanten Unternehmens möge folgendes beigefügt werden.

Sollen die Positionen der Sterne mit einer den heutigen Bedürfnissen ent-

sprechenden Genauigkeit abgenommen werden können, so muß eine Bogenminute mindestens eine lineare Ausdehnung von 1 mm besitzen. Dies vorausgesetzt, kann aber ein Cliché nicht leicht mehr als zwei Quadratgrade umfassen: es werden daher zu einer vollständigen Aufnahme des Himmels 21 000 Clichés erforderlich sein, da er rund 41 000 Quadratgrade enthält. Damit man aber nicht etwa durch zufällige Verunreinigungen und andere Fehler einer Platte irregeführt werde, muß jede Gegend des Himmels mindestens zweimal photographiert werden, wodurch die Anzahl der Platten bereits auf 42 000 steigt. Außerdem werden aber gewiß eine ziemlich große Anzahl von Aufnahmen aus den verschiedensten Ursachen mißlingen und wiederholt werden müssen, und endlich von einzelnen Clichés wegen größerer Unvollkommenheiten Revisionsaufnahmen als nötig sich herausstellen, sodaß man gewiß eher zu niedrig als zu hoch greift, wenn man die Zahl aller zu einer vollständigen Himmelskarte nötigen Aufnahmen auf 50 000 veranschlagt. Auf einer Sternwarte allein kann freilich der ganze Himmel nicht übersehen, daher auch nicht photographiert werden: allein wenn diese sich auch nur auf die Photographie des halben Himmels, beispielsweise der nördlichen Halbkugel, beschränken würde, blieben immerhin noch 25 000 Aufnahmen erforderlich, von denen man im Durchschnitte wohl kaum mehr als 3 an einem Abende ausführen kann. Mit Abrechnung der Mondscheinnächte, die zu diesem Zwecke natürlich nicht verwendbar sind, wird aber in unseren Gegenden die Zahl der heiteren Nächte 100 schwerlich erreichen, sodaß in einem Jahre etwa 300 Aufnahmen ausführbar sind: zur Erzielung von 25 000 würde also eine Sternwarte allein 80 bis 90 Jahre brauchen. Man sieht daraus recht deutlich, wie nötig das Kooperieren zahlreicher Sternwarten ist, soll dieser Teil des Unternehmens in absehbarer Zeit zu einem gedeihlichen Ende geführt werden können. Dies ist aber erst der kleinere Teil der Aufgabe.

So wertvoll auch die Originalaufnahme des Himmels an und für sich ist, gewährt sie dem Astronomen eigentlich doch erst dann einen erheblichen Nutzen, wenn sie ausgemessen, d. h. die auf ihr enthaltenen Sterne ihrer Position nach in einen Katalog zusammengestellt sind. Wollte man diese Forderung bis auf alle, mit unseren heutigen Fernrohren sichtbaren Sterne ausdehnen, so hätte man, gering gerechnet, 20 Millionen Sterne (§ 180) auszumessen und zu katalogisieren. Diese Zahl ist indes eine so ungeheuere, daß sich wohl nur sehr wenige Menschen eine Vorstellung von ihrer Bedeutung zu machen imstande sind, wie folgende Überlegung klarstellen dürfte.

Es gehört schon ein recht kompresser Druck dazu, um auf eine Quartseite die genaue Position von 200 Sternen zu bringen. Der Druck eines Kataloges von 20 Millionen Sternen würde nun 100 000 solcher Seiten erfordern, welche zu je 1000 in einem Band vereinigt ein Werk von 100 starken Quartbänden füllen würden! Zu noch weit überraschenderen Resultaten würde aber die Zeit führen, die zur Ausmessung und Katalogisierung eines so gewaltigen Sternen-

heeres nötig wäre: die Erreichung dieses Zieles muß daher, wenigstens für unsere Zeit als ein unerreichbares Ideal betrachtet werden. Die äußerste Grenze des erreichbaren dürfte in der Bestimmung der Position der Sterne bis einschließlich der 11. Größe liegen, deren Zahl ohnehin bereits gegen 3 Millionen betragen dürfte. Schon die Realisierung dieser beschränkten Forderung würde einen ganz unschätzbaren Fortschritt bedeuten, da die Zahl der uns bekannten genauen Sternpositionen damit reichlich auf das 20fache steigen würde. Überlegungen dieser Art schwebten den Teilnehmern an der pariser Konferenz vor, als sie wohl eine Aufnahme des Himmels bis zu den kleinsten noch sichtbaren Sternen beschloß, die Katalogisierung derselben aber bis auf die der 11. Größe beschränkte.

Die Durchmusterungen des Himmels von Argelander und Schönfeld, welche, wie bereits erwähnt, alle Sterne bis einschließlich der Größe 9·0 vollständig, (von schwächeren aber nur einen Teil) enthalten, setzen uns auch in den Stand, einen Überblick über die Zahl und Verteilung der Sterne bis zur Größe 9·0 zu gewinnen. Nach Zählungen, welche K. v. Littrow und Seelinger haben vornehmen lassen, beträgt diese Zahl:

Größe	Anzahl der Sterne	
	Nördliche Halbkugel	Südliche bis −23°
1 bis 6·5	4 120	1 369
6·6 = 7·0	3 887	1 347
7·1 = 7·5	6 054	1 952
7·6 = 8·0	11 168	3 800
8·1 = 8·5	22 898	8 313
8·6 = 9·0	52 852	20 509

Sucht man aber nicht die Anzahl der Sterne einer bestimmten Größenklasse, sondern die Gesamtzahl aller Sterne bis zu dieser, so findet man aus den obigen Daten leicht:

Größe	Anzahl der Sterne	
	Nördliche Halbkugel	Südliche bis −23°
1 bis 6·5	4 120	1 369
1 = 7·0	8 007	2 716
1 = 7·5	14 061	4 668
1 = 8·0	25 229	8 468
1 = 8·5	48 127	16 781
1 = 9·0	100 979	37 290

Die Hälfte der Kugelfläche enthält 20 626·4, eine Kugelzone vom Äquator bis 23° Breite aber nur 8059·2 Quadratgrade, oder 0·39073 des Flächenraumes der Halbkugel: es sollten also, wäre der südliche Himmel ebenso sternreich als der nördliche, in der Zone vom Äquator bis 23° südlicher Deklination sich 39 455 Sterne vorfinden, was, wie man sieht, ziemlich gut zutrifft. Man ist daher wohl zu der Annahme berechtigt, daß der Sternreichtum der südlichen

Halbkugel des Himmels bis zu den Sternen 9·0 Größe herab dem der nördlichen Halbkugel sehr nahe gleich sei.

In den höheren Größenklassen, wo wegen der großen Zahl der Sterne die individuellen Verschiedenheiten der einzelnen sich bereits nahe ausgleichen, steigt die Anzahl der Sterne beim Hinzufügen einer halben Größenklasse stets nahe auf die doppelte. Wären daher die Sterne bis zu denen 15·5 Größe, nämlich den schwächsten uns noch sichtbaren, gleichmäßig im Raume verteilt, so würde die Gesamtzahl der Sterne bis zu diesen auf einer Halbkugel rund 827 Millionen, also am ganzen Himmel etwa 1650 Millionen betragen!

§ 180. (Form unseres Fixsternhimmels.) Die Annahme, daß die Sterne auch jenseits der 9·0. Größe bis zu den kleinsten uns sichtbaren herab gleichmäßig im Raume verteilt seien, ist indes kaum stichhaltig; es sprechen im Gegenteil mehrere Umstände dafür, daß dies keineswegs der Fall sei. Wenn nämlich die Fixsterne sich ohne Unterbrechung immer weiter und weiter gleichmäßig durch den endlosen Raum ausbreiten würden, müßten wir offenbar an jeder Stelle des Himmels, auf die wir ein Fernrohr richten, eine gleiche Zahl von Sternen erblicken. Dies ist nun in der Wirklichkeit keineswegs der Fall. So z. B. sah W. Herschel bei seinen Sternzählungen mit einem zwanzigfüßigen Reflektor in den sternärmsten Regionen des Himmels oft nur 3 bis 4 Sterne auf einmal im Gesichtsfelde, während diese Zahl in anderen, sternreichen Gegenden auf 588 stieg. Ja, stellenweise stehen sie so gedrängt, daß ein eigentliches Zählen gar nicht mehr ausführbar ist, wie in der Gegend der Keule Orions, wo Herschel in einem Streifen von 15° Länge und 2° Breite mehr als 50 000 Sterne durch das Feld seines Fernrohres gehen sah. Und selbst dies ist noch keineswegs die sternreichste Gegend, die wir kennen. Schon Huyghens sah mit seinem noch unvollkommenen Fernrohre, dessen Feld sehr klein war, im Schwerte Orions über 2000 Sterne auf einmal und W. Herschel in der Nähe der Milchstraße nach seiner Schätzung einmal während 41 Zeitminuten nicht weniger als 258 000 Sterne, ein andermal sogar in einer Viertelstunde bereits 116 000 durch das Feld seines Reflektors ziehen.

Diese Erscheinung begreift sich am leichtesten, wenn man annimmt, daß sich nicht ohne Unterbrechung fort und fort ins Unbegrenzte ein Stern an den andern reihe, sondern daß das uns umgebende Sternenheer allseitig von bestimmten Grenzen eingeschlossen sei, jenseit welcher weite sternenlose Räume sich ausbreiten, denen wir in gewissen Richtungen näher stehen als in andern. Es gewinnt diese Ansicht dadurch an Wahrscheinlichkeit, daß nach den Untersuchungen der beiden Herschel die sternreichen Partien nicht regellos am Himmel zerstreut sind, sondern mit der Annäherung an die Milchstraße, jenen breiten lichten Streifen, der in Gestalt eines größten Kreises von ungleicher Breite den ganzen Himmel umzieht, die Sternenfülle ganz regelmäßig zunimmt. Diese Zunahme der Sternzahl von den Polen der Milchstraße gegen sie selbst hin ist aus der fol-

genden Zusammenstellung ersichtlich, die W. Struve nach den Sternzählungen W. Herschel's für die nördliche und J. Herschel aus seinen eigenen Zählungen für die südliche Hemisphäre giebt.

Zonen der Distanz von den Polen der Milchstraße.	Mittl. Sternzahl in einem Gesichtsfeld von 15′ Durchm.	
	W. Struve.	J. Herschel.
0° bis 15°	4·32	6·05
15 = 30	5·42	6·62
30 = 45	8·21	9·08
45 = 60	13·61	13·49
60 = 75	24·09	26·29
75 = 90	53·43	59·06

W. Herschel, der nebenbei bemerkt, der erste war, dem es mittelst seiner lichtstarken Fernrohre gelang, die Milchstraße wenigstens in ihren meisten Teilen in kleine, äußerst dichtgedrängte Sterne aufzulösen, schloß aus dem regelmäßigen Gange der vorstehenden Zahlen, daß diese ganze Sammlung von Sternen die Gestalt einer Linse habe, und daß wir und unser Planetensystem nicht sehr weit von dem Mittelpunkte dieses ungeheuren linsenförmigen Gebäudes stehen, wodurch es uns eben in der Gestalt erscheint, in welcher wir es am Himmel erblicken. Wenn wir nämlich unser Auge gegen die scharfe Kante dieser Linse erheben, so sehen wir unzählige Sterne dicht gedrängt hintereinander, während wir, wenn wir den Blick gegen die Mitte der beiden großen Seitenflächen der Linse, d. h. gegen die beiden Pole derselben richten, nur wenigen weit auseinander stehenden Sternen begegnen. Dort sehen wir von dem tiefen, dichten Walde des Himmels sehr viele auch weit entfernte und deshalb scheinbar dicht aneinander stehende Bäume, während wir hier bei der geringen Breite des Waldes nur die wenigen uns zur Seite stehenden Bäume desselben erblicken. Jene beiden Pole der Milchstraße sind in der Nähe des Haupthaares der Berenice und der Bildhauerwerkstätte, und es ist selbst einem unerfahrenen Beobachter sehr auffallend, wenn er zufällig mit seinem Fernrohre diese beiden Gegenden des Himmels trifft und sie beinahe ganz sternleer findet.

Man kann aber noch weiter gehen und aus der Zahl der auf einmal im Gesichtsfelde des Fernrohrs sichtbaren Sterne die Form des Sternhaufens, in welchem wir uns befinden und unsere Stellung in demselben näher ermitteln, wenn man annimmt, die Sterne seien bis an dessen Grenzen gleichmäßig im Raume verteilt.

Denken wir uns nämlich einen Kegel, dessen Scheitel im Auge des Beobachters oder, was hier dasselbe ist, in dem Mittelpunkte der Sonne ruht, und dessen Winkel am Scheitel volle 90° beträgt.

Es werde nun dieser Kegel durch mehrere senkrecht auf seiner Achse stehende Ebenen geschnitten. Die erste dieser Ebenen soll von dem Scheitel des Kegels um die mittlere Entfernung der uns nächsten Sterne von uns abstehen, welche

unseren bisherigen Erfahrungen zufolge (§ 176) beiläufig 5 Sternweiten oder 16·2 Jahre Lichtzeit betragen dürfte, und kürzehalber mit Herschel eine Siriusweite genannt werden möge. Die zweite Schnittebene soll um 2, die dritte um 3 Siriusweiten u. s. w. abstehen. Dies vorausgesetzt, wird die erste Ebene die Oberfläche des Kegels in einem Kreise schneiden, dessen Halbmesser gleich einer Siriusweite ist, und in dessen Peripherie man also 6 Sterne annehmen kann, die alle unter sich um eine Siriusweite entfernt sind. Dies giebt daher 6, und mit dem Sterne in dem Mittelpunkte des Kreises 7 Sterne in der ersten Ebene.

Die zweite Ebene schneidet den Kegel in einem Kreise, dessen Halbmesser zwei Siriusweiten beträgt, und in dessen Peripherie sich daher 12 gleich weit voneinander stehende Sterne annehmen lassen. Allein um den Mittelpunkt dieses Kreises läßt sich auch noch ein anderer, mit jenem konzentrischer, ziehen, der genau so groß ist wie jener auf der ersten Ebene, und der daher ebenfalls wieder 6 Sterne in seine Peripherie aufnehmen kann. Dies giebt zusammen 12 und 6 oder samt dem Sterne in dem Mittelpunkte beider Kreise 19 Fixsterne in der zweiten Ebene.

In der dritten Ebene wird man ebenso drei konzentrische Kreise ziehen, deren Halbmesser 1, 2, 3 Siriusweiten betragen, und von welchen der erste, kleinste 6, der zweite 12 und der dritte 18 Sterne enthält, so daß also diese dritte Ebene in allem 37 Sterne aufnehmen kann. Ebenso wird die vierte Ebene 61, die fünfte 91, die sechste 127 Sterne enthalten, u. s. w.

Läßt man daher die Sonne im Scheitel dieses Kegels auch für einen Stern gelten, so erhält man, wenn man diese Zahlen addiert, in dem ganzen Kegelraume von dem Scheitel

bis zum Isten	Schnitte	8	Sterne	
= = IIten	=	27	=	
= = IIIten	=	64	=	
= = IVten	=	125	=	u. s. w.

Diese Zahlen sind aber die Würfel der einfachen Zahlen 2, 3, 4, 5; man erhält also überhaupt in dem Kegelraume von dem Scheitel bis zu dem n weniger erstem Schnitte n^3 Sterne, wenn man den Stern im Scheitel selbst mitzählt.

Legt man nun in die Achse dieses Kegels ein Fernrohr, so wird man damit ebenfalls einen kreisförmigen Raum des Himmels übersehen, und wenn man dann von allen Punkten der Peripherie dieses Kreises gerade Linien nach dem Auge des Beobachters zieht, so wird man einen anderen, obgleich viel kleineren Kegel erhalten, der mit jenem großen einerlei Scheitel, dieselbe Achse und gleiche Höhe hat. Die von den beiden Kegeln eingeschlossenen Räume verhalten sich bekanntlich wie die Quadrate der Halbmesser ihrer Grundflächen. Diese Halbmesser sind aber den Tangenten des Winkels der Achse mit den Seitenlinien proportional, und es verhalten sich deshalb auch beide Kegel wie die Quadrate der Tangenten des Winkels an der Achse.

Der Halbmesser des kreisförmigen Feldes des Fernrohres, d. h. der Halbmesser der Basis des kleinen Kegels betrug bei dem von W. Herschel gebrauchten Spiegelteleskope $0^0\ 7'\ 32''$, und von diesem Winkel ist das Quadrat seiner Tangente gleich 0·000004802. Der Halbmesser der Basis des großen Kegels aber beträgt 45^0, und von diesem Winkel ist die Tangente gleich der Einheit. Der große Kegel verhält sich daher zu dem vom Fernrohre am Himmel abgeschnittenen wie 1 zu 0·000004802.

Allein dieselben Kegelräume verhalten sich auch wie die Anzahl der in ihnen enthaltenen, voneinander gleichweit abstehenden Sterne. In dem großen Kegel giebt es, wie wir gesehen haben, n^3 Sterne, wenn man ihn bis zum n weniger erstem Schnitte fortsetzt; man erhält daher, wenn man durch das Feld jenes Fernrohres auf einmal a Sterne am Himmel erblickt, die Proportion

$$n^3 : a = 1 : 0{\cdot}000004802.$$

Daraus folgt, daß die gesuchte Größe n gleich ist der Kubikwurzel aus der Zahl a dividiert durch 0·000004802 oder, was dasselbe ist, aus der Zahl 208244a.

Es kommt also nur noch darauf an, zu wissen, wie viel Sterne man durch das Fernrohr an jedem Orte des Himmels sieht. Nehmen wir nun W. Herschel's Zählungen in den sternreichsten Gegenden, so ist nach dem obigen $a = 588$ und daher $n = 497$. Das heißt: die entlegensten Sterne, die wir an dieser Stelle des Himmels erblicken, sind 497 Siriusweiten oder so weit von uns entfernt, daß das Licht nahezu 8000 Jahre braucht, diesen Raum zu durcheilen. Ebenso ist für die sternleersten Gegenden $a = 3$, daher $n = 79$, mit andern Worten: an diesen Stellen ist die Grenze des Fixsternkonglomerates bereits in 79 Siriusweiten oder 1260 Jahren Lichtzeit anzutreffen.

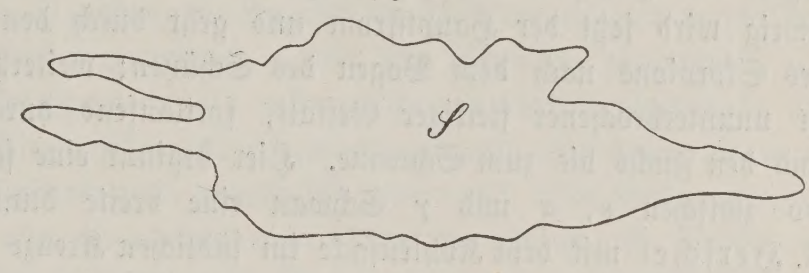
Von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet, liefern uns derartige Sternzählungen ein Mittel, die Ausdehnung unseres Sternhimmels in den verschiedenen Richtungen kennen zu lernen; man hat sie aus diesem Grunde Sterneichungen genannt. Sind nun solche Sterneichungen über den ganzen Himmel verteilt, so kann man die den einzelnen Eichungen entsprechenden Entfernungen der äußersten Sterne berechnen und diesen Entfernungen proportionale Linien in den richtigen Lagen um einen Punkt, der unsern Standpunkt vorstellt, legen und indem man die Enden dieser Linien verbindet, einen Körper herstellen, welcher die Form unseres Fixsternhaufens so genau wiedergiebt, als es die vorhandenen Eichungen gestatten. Ein Durchschnitt dieses Körpers, der durch die Sternbilder Adler, Wassermann, südliche Fische, Walfisch, Eridanus, Einhorn, Wasserschlange, Löwe, Haupthaar der Berenice, Jagdhunde, Krone und Herkules geführt ist, hat nach W. Herschel die in Fig. 93 dargestellte Form, in welcher S den Ort unseres Planetensystems bezeichnet.

Die Gesamtzahl aller Sterne des inneren kugelförmigen Kernes von 79 Siriusweiten Halbmesser dürfte etwa $4^1/_2$ Millionen betragen, während Herschel die Zahl aller in unserem Fixsternkomplexe enthaltenen Sterne auf 20 Millionen

schätzt, womit auch W. Struve übereinstimmt, der Herschel's Sterneichungen in seinen Études d'astronomie stellaire einer sehr eingehenden Diskussion unterworfen hat. Darnach kommen beiläufig vier Fünftel der uns sichtbaren Sterne auf die vorspringenden Arme und Ausläufer unseres Fixsternsystemes.

Das oben gegebene Diagramm ist nur dann ein treues Abbild einer Sektion unserer Fixsternwelt, wenn die Voraussetzung richtig ist, daß nirgends lokale und weit ausgedehnte Sternanhäufungen vorkommen. Das letztere ist aber höchst wahrscheinlich der Fall, wie bereits W. Herschel in den letzten Jahren seines Lebens erkannt und darum die Form unseres Fixsternsystemes mehrfach modifiziert hat. W. Struve, der sich mit diesem Gegenstande ebenfalls sehr eingehend beschäftigt hat, glaubt, daß wir in der Ebene des Milchstraßenringes nicht nur deshalb so viele Sterne auf einmal im Gesichtsfeld eines Fernrohres erblicken, weil dort die Grenzen unseres Fixsternkonglomerates weiter entfernt sind als in anderen Richtungen, sondern weil dort die Sterne auch thatsächlich viel dichter beieinander stehen. Diese Annahme rückt die Grenzen unseres Fixsternsystemes viel näher als die Herschel'sche und ändert die Gestalt desselben in eine mehr kugelförmige. Es verdient übrigens noch hervorgehoben zu werden, daß, während die Fixsterne überhaupt in der Milchstraße und deren Nähe am dichtesten gedrängt sind, ein beträchtlicher Teil der hellen Sterne (etwa bis zur 4. Größe) in einer Zone liegt, die beiläufig einen Winkel von 25° mit der Milchstraße einschließt und diese beim Kreuz und bei der Kassiopeja durchschneidet, — eine Thatsache, die zuerst Sir J. Herschel für die südliche Halbkugel bemerkte und später Gould in Kordoba (Argentinien) und in Nordamerika weiter untersuchte.

Fig. 93.



§ 181. (Beschreibung der Milchstraße.) Die Milchstraße geht, wenn wir im Sternbilde der Kassiopeja beginnen, zwischen γ und ε Kassiopeja durch, wo sich ein Nebenzweig von ihr trennt, der eine südlichere Richtung über ε Perseus nimmt und sich in der Nähe der Plejaden und Hyaden verliert. Der Hauptstrom geht mit sehr geringer Helligkeit über Kapella im Fuhrmann, die Füße der Zwillinge, die Hörner des Stieres und die Keule des Orion nach dem Äquator, den er am Halse des Einhorns schneidet. Von hier an nimmt die Helligkeit beträchtlich zu. Am Hinterteile des Schiffes geht ein Zweig südlich ab bis γ Argo, wo er plötzlich abbricht. Der Hauptstrom geht fort bis 33° südlicher Deklination, wo er fächerförmig geteilt und bei 20° breit ebenfalls abbricht, was von γ bis λ Argo eine Lücke in der Milchstraße bildet. Mit derselben Breite beginnt

sie dann wieder, wird aber an den Füßen des Centaur und gegen das südliche Kreuz immer enger, bis sie endlich in einen Streifen von nur 3° bis 4° Grad ausläuft, sich aber bald darauf wieder zu einer hellen und breiten Masse ausdehnt, welche die Sterne β Centaur, α und β Kreuz einschließt, und in deren Mitte der schwarze birnförmige Kohlensack liegt, eine sehr merkwürdige Gegend des südlichen Himmels, die ihre auffallende Dunkelheit nicht etwa einer besonderen Armut an Sternen — im Fernrohre entdeckt man deren sehr viele, ja sogar Sternhaufen an dieser Stelle, — sondern dem Kontraste mit einer der hellsten Gegenden der Michstraße verdankt, die unmittelbar und beinahe ohne allen Übergang den Kohlensack rings umschließt. (Siehe Atlas des gestirnten Himmels, Fig. 51.)

In dieser Region, etwas unterhalb des Kohlensackes, ist die Milchstraße dem Südpole am nächsten. Bei α Centaur treten mehrfache Teilungen derselben ein. Zuerst geht ein schmaler Zug nördlich nach dem Sternbilde des Wolfes, wo er sich verliert; dann zeigt sich wieder eine Teilung in der Nähe von γ des südlichen Dreiecks. Der nördlichere Zweig bildet unregelmäßige Formen bis gegen den Fuß des Schlangenträgers, wo er ganz verschwindet; der südlichste Zweig wird jetzt der Hauptstrom und geht durch den Altar und den Schwanz des Skorpions nach dem Bogen des Schützen; weiterhin erkennt man ihn aber in ununterbrochener fleckiger Gestalt, fortlaufend durch den Adler, den Pfeil und den Fuchs bis zum Schwane. Hier beginnt eine sehr unregelmäßige Gegend, wo zwischen ε, α und γ Schwan eine breite dunkle Leere sich zeigt, die J. Herschel mit dem Kohlensacke im südlichen Kreuze vergleicht, und die gleichsam einen Mittelpunkt bildet, von dem drei Ströme auslaufen. Einer derselben von größerer Lichtstärke kann gleichsam rückwärts über β Schwan und ε Adler verfolgt werden, jedoch ohne sich mit dem bereits oben erwähnten, bis zum Fuße des Ophiuchus gehenden Zweige zu vereinigen. Von dem Sternreichtum der Milchstraße in dieser Gegend giebt Tafel X ein anschauliches Bild, welche nach einer Photographie der Brüder Henry angefertigt wurde. Ein bedeutender Seitenarm der Milchstraße dehnt sich außerdem noch am Kopfe des Cepheus, also in der Nähe der Kassiopeja, von welcher Konstellation an wir die Beschreibung der Milchstraße begonnen haben, nach dem kleinen Bären und dem Nordpole hin aus.

Die Hälfte der Milchstraße, in deren Mitte beiläufig der Schütze steht, ist im ganzen viel breiter als die andere, bei deren Mitte ungefähr Orion liegt; ferner ist der südliche Teil wesentlich heller als der nördliche.

§ 182. (Andere Milchstraßen.) Da wir, nahe in der Mitte eines linsenförmigen Sternenheeres uns befinden, scheint uns die Kante oder der hellste Teil desselben in der Gestalt eines größten Kreises um den Himmel zu ziehen. Wenn aber unser Auge von dem Mittelpunkte dieses linsenförmigen Gebildes um den ganzen Durchmesser desselben entfernt wäre, so würden wir es nur als einen Ring oder als eine Scheibe von 53° im Durchmesser sehen. In der Entfernung von

100 Durchmessern würden wir die ganze Milchstraße nur noch unter einem Winkel von 36′ im Durchmesser erblicken, somit bereits kleiner als den bekannten Nebelfleck in der Andromeda, der ebenfalls eine linsenförmige Gestalt hat.

Wie also, wenn dieser letzte Nebel selbst wieder eine, aber eine so weit von uns entfernte Milchstraße wäre, daß wir die einzelnen Sterne derselben nicht mehr unterscheiden können, so daß uns das Ganze nur noch als eine schwache Lichtwolke erscheint? Solche Nebel giebt es aber noch viele am Himmel, und die Mutmaßung, welche wir hier aufgestellt haben, hat jedenfalls sehr viel Wahrscheinlichkeit. — In der That hat auch schon W. Herschel mehrere dieser wunderbaren Gebilde des Himmels noch als sehr gedrängte Sternhaufen erkannt; seine mächtigen Fernrohre haben ihn eine große Menge von sehr kleinen und äußerst dicht gedrängten Sternchen in ihnen erkennen lassen, während andere, selbst in seinen stärksten Teleskopen, immer noch die frühere Nebelgestalt beibehielten, und er hat daraus den Schluß gezogen, daß diese letzteren wenigstens gegen 10 000 Siriusweiten von uns entfernt sein müssen.

Wenn nun dies alles sich in der That so verhält, wer wird es dann noch unternehmen, die Sterne des Himmels zu zählen? — Offenbar führen uns die vorhergehenden Betrachtungen dahin, die Anzahl der Fixsterne als ganz unzählbar, als wahrhaft unendlich groß anzunehmen. Wir sind gleichsam gezwungen, den Weltraum nach allen Richtungen hin als unbegrenzt und überall ohne Ende alle Gegenden desselben von Himmelskörpern eingenommen vorauszusetzen. Zwar ist es uns bei unserer Geistesbeschaffenheit unmöglich, einen nach allen Seiten grenzenlosen Raum zu denken; aber ist es uns nicht ebenso unmöglich, die Natur und die schaffende Kraft derselben in irgend einer Beziehung, der Zeit oder des Raumes, beschränkt zu denken?

Indessen, könnte man einwenden, wenn die Zahl der Sterne des Himmels in der That und im eigentlichen Sinne des Wortes unendlich sein soll, so müßte jeder unserer Gesichtsstrahlen auf Sterne stoßen, und die Folge davon sein, daß uns der Himmel in allen seinen Punkten ganz ebenso hell wie die Sonne erscheinen würde. Weil dies nun offenbar gegen alle Erfahrung ist, kann auch jene Voraussetzung einer unendlichen Zahl von Fixsternen nicht zugelassen werden.

Dagegen ist vor allem zu bemerken, daß die Lichtintensität mit der Entfernung des Gegenstandes nicht etwa im einfachen, sondern im quadratischen Verhältnis abnimmt, so daß ein Stern, wenn er in die 10fache Entfernung von uns versetzt würde, uns 100mal schwächer erschiene, in der 10 000fachen aber bereits 100millionenmal. Zu dieser, durch die Entfernung allein bedingten Helligkeitsabnahme tritt aber noch eine andere Ursache der Lichtschwächung. Wir haben nämlich unseren Erfahrungen zufolge noch nirgends in der ganzen Natur einen völlig leeren Raum angetroffen, und es ist daher auch nicht wahrscheinlich, daß die großen Räume, welche unsere Planeten, und die noch viel größeren, welche die Sonnensysteme unserer Milchstraße, und welche diese Milchstraßen selbst von-

einander trennen, ganz leer und von keiner Materie ausgefüllt sein sollten. Welcher Art dieser Äther, wie groß auch seine Feinheit und Durchsichtigkeit sein mag, so wird er doch das Licht der Fixsterne schwächen müssen, und die Folge dieser Schwächung wird endlich sein, daß dieses Licht nicht mehr bis zu uns vordringen kann oder doch einen ganz unmerklichen Eindruck auf unser Auge machen muß. Nehmen wir an, daß von 800 Strahlen, die uns ein Stern, der eine Sternweite (31 Billionen km) von uns entfernt wäre, zusendet, auch nur ein einziger durch den Widerstand des Äthers verloren geht, so wird, wie man durch eine einfache Rechnung findet, die Helligkeit eines Sternes, wenn sie in der Entfernung einer Sternweite gleich der Einheit gesetzt wird, in der Entfernung von 84 Sternweiten nur noch $^9/_{10}$ sein, also bereits $^1/_{10}$ ihrer früheren Helligkeit verloren haben. In der Distanz von 554 Sternweiten wird diese Helligkeit nur noch $^1/_2$, in der Distanz von 5500 Sternweiten aber bloß $^1/_{1000}$ ihrer ursprünglichen Größe betragen, und in der von 10 000 Sternweiten schon zu dem 300 000sten Teile herabgesunken sein. Rechnet man nun noch dazu die oben erwähnte Lichtabnahme, so sieht man, daß ein Gestirn in der Entfernung von 10 000 Sternweiten bereits 30billionenmal schwächer leuchtet, als wenn es bloß eine Sternweite von uns abstehen würde. Es werden daher schon sehr viele und dicht gedrängte Sterne erforderlich sein, um einen so weit von uns entfernten Sternhaufen selbst in der dunkelsten Nacht noch als einen matten, blassen Nebelfleck erkennen zu lassen.

Der oben erwähnte Einwurf hindert uns demnach nicht, die Anzahl der Sterne in der That als unendlich und den Weltraum nach allen Richtungen als völlig unbegrenzt anzunehmen.

§ 183. (Eigenbewegung der Fixsterne.) Schon in den ältesten Zeiten haben sich ausgezeichnete Astronomen bemüht, die Position der Fixsterne gegen gewisse feste Punkte und Kreise am Himmel zu bestimmen, teils um vollständige und genaue Sternverzeichnisse zu erhalten und auf neu erschienene oder verschwundene Sterne leicht aufmerksam zu werden, teils um gute Anhaltspunkte für die Bewegung der Planeten und Kometen zu besitzen. Es mochte sie aber auch ein dunkles Gefühl der Möglichkeit leiten, daß jene unzählbare Menge von Fixsternen doch nicht so ganz unbeweglich sei, und wenn dies wäre, die Kenntnis ihrer Bewegungen gewiß zu schönen Bereicherungen der Astronomie Anlaß gäbe. Und in der That, schon Hipparch erkannte durch Vergleichung seines großen Sternkataloges mit den älteren Verzeichnissen von Timocharis und Aristyllus die bereits lange vorher von den Chinesen, Indern und Ägyptern gefundene Änderung aller Fixsternorte als Präzession der Nachtgleichen (I. Abt. § 50). Des Ptolemäus Katalog setzte in späterer Zeit Halley in den Stand, zu zeigen, daß nicht alle Fixsterne ihre Positionen am Himmel unverändert beibehalten, sondern daß es einige gebe, die, gleich den Planeten und Kometen, ihre Stellung gegen die übrigen merklich ändern. So ungenau nämlich das Ptolemäische Sternverzeichnis war im Vergleiche mit der Schärfe der neueren Beobachtungen, so fand Halley doch bei

einigen der helleren Sterne so große Unterschiede zwischen den von Ptolemäus angegebenen und den aus Flamsteed's Beobachtungen abgeleiteten Positionen derselben, daß er sie notwendig wahren Ortsveränderungen zuschreiben zu müssen glaubte. Halley zweifelte also nicht mehr daran, daß einige Fixsterne eine Eigenbewegung besitzen, und Cassini II., Lemonnier und vorzüglich Tobias Mayer waren die ersten, die, durch Halley's Entdeckung veranlaßt, genaue Beobachtungen einer Anzahl von Fixsternen in der Absicht anstellten, die Beschaffenheit und Größe jener Eigenbewegungen kennen zu lernen. Diese Untersuchungen wurden seither auf das eifrigste fortgeführt, und wir sind durch die zahlreichen, seit dem Anfange unseres Jahrhunderts angefertigten genauen Sternkataloge heute schon in der Lage, von mehr als 4000 Sternen die Eigenbewegung mit mehr oder weniger Sicherheit anzugeben. Diese Eigenbewegungen sind aber im allgemeinen sehr klein; es hat nämlich Mädler die sämtlichen Sterne des Bradley'schen Kataloges in dieser Beziehung sehr genau untersucht und dabei gefunden, daß von den Sternen des eben genannten Verzeichnisses die jährliche Eigenbewegung im Durchschnitte beträgt:

bei den	65	Sternen	1. und 2.	Größe	0·222″
= =	154	=	3.	=	0·168
= =	312	=	4.	=	0·137
= =	690	=	5.	=	0·111
= =	994	=	6.	=	0·090
= =	912	=	7.	=	0·086

Darnach nimmt offenbar die durchschnittliche Größe der Eigenbewegung mit der Größe der Sterne ab; doch kann man dies nur im allgemeinen sagen und nicht auf einzelne spezielle Sterne anwenden, wie dies folgende Zusammenstellung der stärksten bisher erkannten Eigenbewegungen darthut. In derselben gilt der Ort der Sterne für 1900; die Eigenbewegung ist jährlich und im größten Kreise zu verstehen, die Richtung der Bewegung von Nord über Ost gezählt, und bei der Bezeichnung der kleineren Sterne die Zahl nach dem Namen die Nummer des betreffenden Kataloges, in welchem sich die erste genauere Position dieses Sternes vorfindet.

Name	Größe	Rektasc.	Dekl.	jährliche EB.	Richtung
Groombridge 1830 .	6·9	$11^h\ 47{\cdot}2^m$	$+38^\circ\ 26'$	7·04″	145·1°
Lacaille 9352 . . .	7·5	22 59·4	−36 26	6·95	79·2
Gould 32 416 . . .	8·5	23 59·5	−37 51	6·07	112·6
61 Schwan	5·7	21 2·4	+38 15	5·20	51·5
Lalande 21 185. . .	7·3	10 57·9	+36 38	4·76	187·1
ε Indianer	5·2	21 55·7	−57 22	4·61	122·7
Lalande 21 258. . .	8·7	11 0·5	+44 2	4·41	282·3
40 0^2 Eridanus . .	4·6	4 10·7	− 7 49	4·05	212·0
μ Kassiopeja	5·7	1 1·6	+54 26	3·74	114·9

Name	Größe	Rektasc.	Dekl.	jährliche EB.	Richtung
Arg. We. 11 702 . .	9·2	$15^h\ 4{\cdot}7^m$	$-15^\circ 59'$	3·69″	195·5°
Arg. We. 11 703 . .	9·0	15 4·7	−15 54	3·68	195·4
α Centaur	1	14 32·8	−60 25	3·61	283·6
Lacaille 8760 . . .	7·3	21 11·4	−39 15	3·53	249·5
Lacaille 1060 . . .	4·4	3 15·9	−43 27	3·12	75·5
Arg. Öltz. 11 677 . .	9·0	11 14·8	+66 23	3.03	273·9

Außer den ebengenannten kennen wir noch etwa ein Dutzend Sterne mit jährlichen Eigenbewegungen zwischen 2″—3″ und gegen 60 mit solchen zwischen 1″—2″, also im Ganzen etwa 90 Sterne, die ihren Ort jährlich um mehr als eine Sekunde ändern. Unter diesen kommen aber außer dem schon in der obigen Liste aufgeführten α Centaur nur noch 3 Sterne bis zur zweiten Größe vor, nämlich Arctur, Sirius und Prokyon mit jährlichen Eigenbewegungen von resp. 1·27″, 1·31″ und 1·25″.

Übrigens muß hervorgehoben werden, daß wir nur die Projektion der wirklichen Bewegung auf die Himmelssphäre, also nur ihren auf unsere Gesichtslinie senkrecht gerichteten Teil wahrnehmen, während wir von dem Teile in der Richtung unserer Gesichtslinie nichts bemerken. Es können daher manche Sterne mit einer scheinbar sehr geringen Eigenbewegung, wie etwa Spica, Antares, Rigel u. a., immerhin eine sehr bedeutende im Raume besitzen, wenn sie nur direkt auf uns zugehen oder sich direkt von uns entfernen. Zur Ermittlung der letztgenannten, in der Richtung unserer Sehlinie liegenden, Bewegungskomponente hat man in der letzten Zeit das Spektroskop herangezogen.

Nach dem Doppler'schen Prinzipe (§ 19) müssen sich nämlich die dunklen Spektrallinien bei einer Annäherung des leuchtenden Objektes gegen das violette Ende des Spektrums verschieben, dagegen bei einer Entfernung gegen das rote Ende. Diese Verschiebung läßt sich aber, auch dann noch, wenn sie nur eine sehr geringe ist, mit unseren sehr empfindlichen, stark zerstreuenden Spektralapparaten wahrnehmen und messen, wovon wir bereits zwei Beispiele (§§ 19, 159) angeführt haben. Es war daher die Hoffnung nicht unberechtigt, daß man aus der Verschiebung der Spektrallinien die Bewegung der Fixsterne in der Richtung unserer Gesichtslinie werde ermitteln können, wenn man sich auch wohl bewußt war, daß diese Untersuchungen wegen der Kleinheit der Größen, um die es sich hier handelt, zu den schwierigsten und delikatesten gehören würden. Die ersten bahnbrechenden Beobachtungen in dieser Richtung führte Huggins im Jahre 1868 aus und schloß aus ihnen, daß sich Sirius mit einer Geschwindigkeit von etwa 41 km in der Sekunde entferne. Seither wurden derartige Untersuchungen von verschiedenen Seiten ausgeführt und so namentlich von der Sternwarte in Greenwich. Die weitaus genauesten Resultate hat aber Prof. C. H. Vogel erzielt, indem er durch Verfeinerung der Beobachtungsmethode und durch photographische Aufnahme der Spektren es dahin gebracht hat, die Größe der Bewe-

gung im Visionsradius bis auf einige wenige Kilometer genau zu ermitteln. Von den 51 Sternen, deren Bewegung er auf diese Art bestimmt hat, geben wir hier das Resultat für jene 41 an, bei denen die Bewegung die Unsicherheit der Beobachtungen bei weitem übertrifft, bei denen daher die Größe derselben bis auf einen geringen Bruchteil ihres Betrages verbürgt werden kann. Die Geschwindigkeiten sind in Kilometer in der Sekunde gegeben, wobei zur Vergleichung bemerkt werde, daß die Erde in ihrer Bahnbewegung um die Sonne im Mittel 30 km in der Sekunde zurücklegt.

a) Sterne, die sich unserem Sonnensysteme nähern:

Name	km	Name	km	Name	km
α Kassiopeja	16	Procyon	9	ζ Großer Bär	31
Polarstern	26	Regulus	9	η = =	26
γ Andromeda	13	γ Löwe	39	Arctur	7
α Widder	15	δ Großer Bär	30	ε Bootis	16
α Perseus	10	α = =	12	β Herkules	36
β Fuhrmann	28	δ Löwe	14	Wega	16
γ Zwillinge	16	β =	12	α Wassermann	37
Sirius	16	γ Großer Bär	27	γ Schwan	7
Kastor	30	ε = =	30	Deneb	8
		Spica	15		

b) Sterne, die sich von unserem Sonnensysteme entfernen:

β Andromeda	11	γ Orion	9	β Kleiner Bär	14
Aldebaran	48	β Stier	8	Gemma	32
Kapella	25	ε Orion	27	α Ophiuchus	19
Rigel	16	ζ =	15	ε Pegasus	8
		Beteigeuze	17		

Eine alle hier angegebenen an Größe beträchtlich übersteigende Bewegung besitzt ζ Herkules. Belopolsky, der sie aufgefunden, bestimmte sie zu 70 km und in naher Übereinstimmung damit Deslandres zu 62 km und zwar nähert sich ζ Herkules unserem Sonnensysteme jede Sekunde um diesen Betrag. Aber auch diese Geschwindigkeit übertrifft die Schnelligkeit der Bahnbewegung des sonnennächsten Planeten Merkur (47·5 km) nicht wesentlich: die Bewegungen im Fixsternraume scheinen daher denen in unserem Sonnensysteme im allgemeinen beiläufig gleich zu sein.

Es kann nun die Frage aufgeworfen werden, ob derartige Bewegungen nicht etwa die Ursache der oben erwähnten (§ 174) säkularen Helligkeitsänderungen einzelner Fixsterne sein könnten; dies ist jedoch nach einer Untersuchung von Oudemans keineswegs der Fall, indem aus ihr hervorgeht, daß selbst für die uns nächsten und stärkst bewegten Sterne mehrere tausend Jahre erforderlich sind, um ihre Größe auch nur um 0·1 einer Größenklasse zu ändern.

Die Gesetze, nach welchen die Bewegungen der Fixsterne vor sich gehen: ob

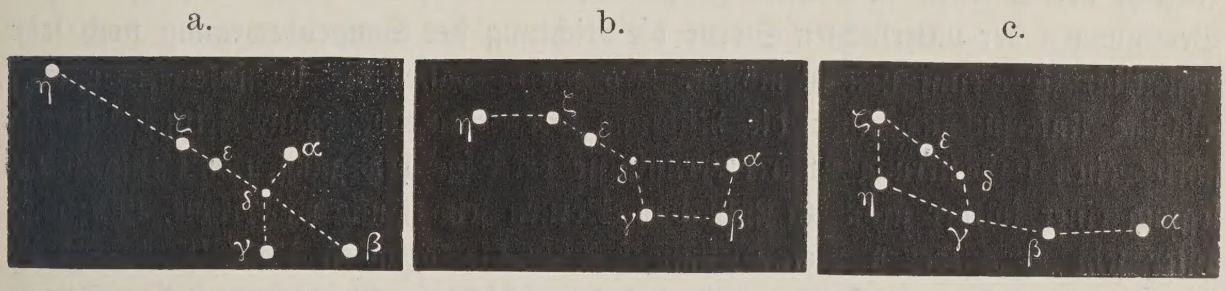
sie mehrere besondere Systeme oder zusammen nur ein großes Ganzes bilden; ob ein Zentralkörper mit überwiegender Masse existiert, der ihre Bewegungen gewissermaßen beherrscht, wie die Sonne die der Planeten und Kometen, oder ob kein solcher vorhanden ist, — diese und ähnliche Fragen können heute noch nicht mit Sicherheit beantwortet werden.

Seit den Studien Herschel's über den Bau unserer Milchstraße (§ 180) war die Ansicht sehr verbreitet, daß das gesamte uns umgebende Sternenheer ein einziges großes, zusammengehöriges Fixsternsystem bilde, dessen einzelne Glieder geschlossene Bahnen um einen gemeinsamen Schwerpunkt beschreiben. Dieser Annahme gab den beredtesten Ausdruck Mädler, der nach jahrelang fortgesetzten umfangreichen Untersuchungen dieses Gegenstandes sich zu der Folgerung berechtigt glaubte, daß die Gluckhenne (§ 185) den dynamischen Mittelpunkt des Weltalls bilde, und daß der hellste Stern dieser Gruppe Alkyone (η Stier) als Zentralsonne des Universums zu gelten habe. Die Großartigkeit dieser Hypothese gewann ihr anfangs viele Anhänger; aber abgesehen davon, daß wir die Eigenbewegungen der Fixsterne noch viel zu wenig kennen, um aus denselben so weit reichende Schlüsse ziehen zu können, weisen manche Erscheinungen darauf hin, daß unser Fixsternhimmel nicht aus einem einzigen großen, sondern eher aus einer Anzahl kleinerer Partialsysteme bestehe, über deren gegenseitiges Verhältnis zueinander wir aber vorläufig noch gar keine Vorstellung haben. So zeigen manche Sterngruppen, die an sich durch ungeheuere Entfernungen getrennt sind, eine solche Übereinstimmung in der Richtung ihrer Eigenbewegungen, daß ein engerer Zusammenhang derselben nicht bezweifelt werden kann. Auf das auffallendste Beispiel dieser Art hat bereits Mädler aufmerksam gemacht. Von den sieben Hauptsternen des großen Bären erweisen sich nämlich die fünf Sterne β, γ, δ, ε und ζ mit seinem Begleiter g oder Alkor durch die Gleichheit der Eigenbewegung als eine zusammengehörige Gruppe, während α und η desselben Sternbildes sich in dieser Beziehung von jenen Sternen ganz absondern, wie sie denn auch nach Huggins ganz andere Spektra zeigen. Eine ebensolche gemeinschaftliche Bewegung, die Proctor sehr passend als Star-drift bezeichnet, finden wir auch bei α, β, η kleiner Hund; bei δ, ε, ζ Hyder; bei ζ Tucan, e Eridanus, ζ_1 und ζ_2 Netz, u. s. w., und auch die beiden oben angegebenen Sterne Arg. We. Nr. 11702 und 11703 mit einer jährlichen Eigenbewegung von 3·77", können wohl nur in diese Kategorie eingereiht werden. Wir stehen hier offenbar an der Schwelle wichtiger Entdeckungen über die Konstitution des Weltalls, zu denen die ersten Anregungen schon vor etwa einem Jahrhundert von J. Michell und W. Herschel gegeben, und welche in neuerer Zeit von Proctor, Safford, Stone u. A. weiter ausgeführt wurden. Ohne hier näher auf diesen Gegenstand eingehen zu können, wollen wir nur noch erwähnen, daß infolge von bedeutenden Verschiedenheiten in der Bewegung benachbarter Fixsterne sich im Laufe der Jahrtausende der Anblick des gestirnten Himmels allmählich völlig verändern muß,

indem dadurch nach und nach die bisherigen Konstellationen ganz umgestaltet erscheinen werden, wie sie denn auch vordem völlig anders angeordnet waren. Auf diese Wirkung der Eigenbewegungen hat unseres Wissens zuerst Flammarion hingewiesen und giebt in der untenstehenden Skizze (Fig. 94) ein Bild des großen Bären, wie er vor 50 000 Jahren aussah (a), und wie er nach 50 000 Jahren aussehen wird (c), während b zur Vergleichung die jetzige Gestalt zeigt.

§ 184. (Bewegungen der Sonne.) Wie wir später ausführlicher erörtern werden, ist die Sonne durch die Anziehung, welche ihre Masse auf die Planeten äußert, die Ursache der Bewegung derselben. Aber die Anziehungskraft ist gegenseitig; es wirkt deshalb auch jeder Planet auf die Sonne zurück und erteilt derselben eine Bewegung im Raume. Wie nämlich ein Planet durch die Attraktion der Sonne eine Ellipse um dieselbe beschreibt, so wird auch der Mittelpunkt der Sonne durch die Attraktion des Planeten in Bewegung gesetzt und geht in einer Ellipse einher. Allein der Umfang dieser Sonnenellipse verhält sich zu jener des Planeten nahe verkehrt wie die Massen dieser beiden Gestirne; diese

Fig. 94.



Sonnenellipse ist daher wegen der unvergleichbar größeren Masse der Sonne gegen die Ellipse des Planeten ungemein klein. Da nun das, was hier von einem Planeten gesagt wurde, in gleicher Weise von allen gilt, ist die Bahn, welche der Mittelpunkt der Sonne beschreibt, eine sehr verwickelte krumme Linie. Glücklicherweise können wir die nähere Kenntnis dieser Linie entbehren, da wir nicht die absoluten Bewegungen der Planeten und Kometen im Raume, sondern nur ihre relativen in Beziehung auf die Sonne beobachten.

Die Sonne muß aber außer der eben besprochenen Bewegung und der Rotation um ihre Achse, welche aus der unmittelbar beobachteten Bewegung der Sonnenflecke (§ 17) folgt, noch eine dritte progressive Bewegung im Raume besitzen. Denn die Rotation, welche wir an der Sonne bemerken, kann wohl nur von einem primitiven Stoße herrühren, welchen sie zur Zeit ihrer Entstehung entweder unmittelbar oder durch Einwirkung irgend eines äußeren Körpers erhalten hat. Außerdem ist ja die Sonne auch ein Fixstern, und diese besitzen, wie wir im früheren Paragraph gesehen haben, ebenfalls eigene Bewegungen. Diese Gründe veranlaßten bereits Lalande, die Vermutung auszusprechen, daß die Sonne außer der Rotation um ihre Achse noch eine

fortschreitende Bewegung im Raume haben müsse, die aber, weil sie ihr ganzes Planetensystem mit sich führe, auch allen Körpern dieses Systems gemeinschaftlich zukomme und daher nur durch scheinbare Bewegungen außerhalb desselben zu erkennen sei. Es war nun wohl natürlich, zu untersuchen, ob sich nicht jene Eigenbewegungen der Fixsterne mindestens zum Teil durch ein progressives Fortschreiten des Sonnensystems erklären lassen. In diesem Falle müssen diejenigen Sterne, auf welche die Sonne zu rückt, sich voneinander entfernen, diejenigen aber, von welchen sie fortrückt, sich gegenseitig nähern, und die stärksten Ortsveränderungen bei solchen Sternen vorkommen, die von der Richtung der Sonnenbewegung um einen rechten Winkel abstehen. Die darauf bezüglichen Untersuchungen eröffneten W. Herschel, Prevost und Klügel. Herschel fand, daß der Punkt, auf welchen die Sonne zugeht, 257° Rektascension und + 27° Dekl. habe; und auch Prevost und Klügel gelangten zu einem ähnlichen Resultate, ungeachtet der letztere eine ganz andere Methode angewendet hatte.

Trotz dieser Übereinstimmung darf man die Sicherheit des Resultates nicht allzuhoch anschlagen, weil allen diesen Berechnungen nur eine sehr beschränkte Anzahl von Sternen zu Grunde gelegt werden konnte, und daher die selbständigen Bewegungen der untersuchten Sterne die Richtung der Sonnenbewegung noch sehr wesentlich zu beeinflussen vermögen. Es wurde daher die hochinteressante und wichtige Untersuchung über die Richtung der Sonnenbewegung seither bei der schrittweisen Erweiterung unserer Kenntnisse der Eigenbewegungen mit Zugrundelegung einer immer größeren Zahl von Sternen sehr häufig wiederholt, und zwar unter sehr verschiedenen Voraussetzungen über die Relation der Eigenbewegung der Sterne zu der zur Sonne und unter verschiedener Gruppierung der Sterne bald nach ihrer Helligkeit, bald nach der Größe ihrer Eigenbewegung, bald nach ihrer Lage gegen die Milchstraße, und zuletzt auch nach dem Spektraltypus derselben. Dabei zeigte sich, daß man für den Punkt, nach welchem die Sonnenbewegung gerichtet ist, erheblich verschiedene Werte je nach dem Gesichtspunkte erhält, von welchem man ausgeht, wie die nachstehende Zusammenstellung der wichtigsten unter den zahlreichen neueren Bestimmungen dieses Punktes zeigt. In derselben bedeuten A und D die gefundene Rektascension und Declination des Zielpunktes der Sonnenbewegung; ferner ist bei jenen Untersuchungen, wie denen von Dunkin, Plummer u. A., welche je nach der Zusammenfassung der Sterne mehrere Werte ergaben, nur derjenige angeführt, den der Berechner als den wahrscheinlichsten erachtet.

Lage des Zielpunktes der Sonnenbewegung.

Name	A	D	Zahl d. ben. Sterne	Name	A	D	Zahl d. ben. Sterne
Argelander	259·9°	+32·5°	390	Ubaghs .	262·4°	+26·6°	464
Lundahl .	252·5	+14·4	147	Plummer	276·1	+26·5	274
O. Struve	261·5	+37·6	392	Boß . . .	287	+47	—

Name	A	D	Zahl d. ben. Sterne	Name	A	D	Zahl d. ben. Sterne
Mädler . .	261·6°	+39·9°	2163	L. Struve	273·3°	+27·3°	2509
Airy . . .	261·5	+24·7	113	Stumpe .	285	+39	1054
Dunkin . .	263·7	+25·0	1167	Porter . .	281·2	+40·7	1340
L. de Ball	269·0	+23·2	67	Ristenpart	281	+39	454
Rancken . .	284·6	+31·9	106	Kobold .	266·5	− 3·1	1427
Bischof . .	285·2	+48·5	480				

Schließlich hat auch Kempf aus den durch Prof. H. C. Vogel spektroskopisch bestimmten Eigenbewegungen von 51 Sternen (§ 183) die Lage des Zielpunktes der Sonnenbewegung bestimmt und findet dafür $A = 206°$ $D = +46°$ oder $A = 160°$ $D = +50°$, je nachdem er bei der Bestimmung desselben alle Sterne gleichmäßig mitstimmen läßt, oder zuerst die oben erwähnten, Partialsysteme bildenden Sterne in je eine Gruppe zusammenzieht. Die große Differenz zwischen den so erhaltenen Resultaten illustriert in sehr anschaulicher Weise, in welchem Maße dieselben bei Benützung von nur wenigen Sternen von deren Zusammenfassung beeinflußt werden.

Kapitel XVI.

Doppelsterne.

§ 185. (Sternreiche Gegenden des Himmels.) Schon dem bloßen Auge fallen mehrere Stellen des Himmels auf, die viel dichter mit Sternen besäet sind als andere. So zeigt sich der südliche Teil des schönen Sternbildes Orion, die Leier, die Gegend um β und ξ im Stier u. s. f. sehr sternreich, während wieder andere, wie das Sternbild des Luchses, der Giraffe u. s. w. nur sehr wenige und kleine Sterne enthalten. Zu den letzten gehören auch die ganz dunklen Stellen des Himmels nahe am Skorpion, im Fuchs, und endlich der sogenannte Kohlensack im südlichen Kreuze.

Auch sieht man häufig einzelne Sterngruppen oder Stellen, wo mehrere größere Sterne in einem kleinen Raume zusammengedrängt erscheinen. Die Plejaden am Halse des Stiers, die auch unter dem Namen der Gluckhenne bekannt sind, enthalten auf einem Raume von kaum einem Quadratgrad einen Stern dritter Größe: Alkyone, zwei vierter bis fünfter: Elektra und Atlas, drei fünfter: Merope, Maja, Taygeta, zwei sechster: Plejone und Celaeno, mehrere siebenter und siebenter bis achter, unter denen Asterope, und sehr viele kleinere Sterne. (Siehe Atlas des gest. Himmels, Figur 4.) Ein gutes Auge erkennt die ersten 6 Sterne mit Leichtigkeit, ein scharfes sieht noch Plejone und Celaeno, und ein vorzüglich scharfes selbst noch mehrere der kleineren. Der Herausgeber kannte junge Leute, die ihrer 14—16 unterschieden. Den Plejaden nahe stehen die Hyaden (Atlas des gest. Himmels, Figur 5), eine ebenfalls

sternreiche Konstellation. Die bekannte Krippe im Sternbild des Krebses (AR = 128° 45′ Dekl. + 20° 4′) enthält auf der Fläche eines halben Quadratgrades über 40 schon mit mäßigen Fernrohren deutlich erkennbare Sterne, viele andre kleinere nicht zu erwähnen. (Atlas des gest. Himmels, Figur 6.)

Es ist nicht wahrscheinlich, daß dieses Zusammendrängen der Sterne an besonderen Stellen des Himmels bloß scheinbar sei, also nur von der Stellung unseres Auges kommen sollte. Wenn man die aus den Beobachtungen bekannte Anzahl der Sterne bis zur zehnten Größe mit den etwa 100 Sternen der Plejaden vergleicht, so zeigt die Wahrscheinlichkeitsrechnung, daß man Millionen gegen Eins wetten kann, daß die enge Nachbarschaft der letzteren nicht zufällig sei, worauf zuerst Michell (1767) hinwies.

§ 186. (Klassen, Größenverhältnisse, Zahl und Verteilung der Doppelsterne.) Dasselbe gilt aber auch von denjenigen Sternen, die man so häufig am Himmel paarweise und in sehr geringen Entfernungen voneinander stehen sieht. Eines der auffallendsten Beispiele bietet der mittlere Stern dritter Größe ζ im Schweife des großen Bären, oder Mizar. (Siehe Atlas, Fig. 1.) Ein scharfes Auge sieht unbewaffnet einen Stern fünfter Größe, g großer Bär, Alkor oder das Reiterlein genannt, ganz nahe an Mizar; die Distanz beträgt beiläufig 11′. Schon mit einem mittelmäßigen Fernrohr unterscheidet man, daß Mizar selbst doppelt ist, und aus einem Sterne dritter und einem fünfter Größe besteht, deren gegenseitige Distanz nahe 14″ beträgt, wie denn auch in der That dieser Stern der erste war, den man als Doppelstern erkannte, da ihn schon um 1650 Riccioli auffand und Gottfried Kirch bereits 1700 beobachtete. Südlich von der Verbindungslinie der Sterne Mizar und Alcor befindet sich ein Stern 8. Größe, den zuerst der Nürnberger Astronom Einmart im Jahre 1691 bemerkte, und mit stärkeren Fernrohren nimmt man noch mehrere kleinere Sterne wahr.

Oft aber sind die Komponenten eines Doppelsterns nur wenige Sekunden, ja nur Teile von Sekunden von einander getrennt. W. Herschel, der erste, der sich mit derartigen Sternen eifriger beschäftigte, nahm nun diese gegenseitigen Distanzen derselben als Einteilungsgrund an, und setzte in die erste Klasse alle diejenigen, deren Distanz kleiner als 4″ war; in die zweite jene, die zwischen 4″ und 8″, in die dritte, die zwischen 8″ und 16″, in die vierte endlich, die zwischen 16″ und 32″ von einander abstehen.

Man führt die Doppelsterne jetzt in der Regel so auf wie alle anderen Sterne, indem man von dem größeren der beiden Sterne die Rektascension und Poldistanz (Einl. § 10) in dem Sternverzeichnis angiebt, was hinreichend ist, seinen Ort am Himmel zu jeder Zeit zu finden. Diesen beiden Angaben wird dann noch die wechselseitige Distanz *Δ* der beiden Sterne in Sekunden, der Positionswinkel *Π*, d. h. der Winkel der Verbindungslinie beider Sterne mit dem Deklinationskreise des größern Sterns, von Nord über Ost gezählt, und die Zeit beigefügt, für welche die beiden Größen *Δ* und *Π* gelten. Diese Zeit muß

angegeben werden, weil Distanz und Positionswinkel bei vielen Doppelsternen fortwährende Änderungen erleiden.

Von den beiden Komponenten eines Doppelsternes ist gewöhnlich die eine viel kleiner als die andere, wie z. B. beim Polarstern, wo die eine der 2., die andere der 9. Größe ist. Oft sind aber auch beide Sterne an Größe einander sehr nahe gleich. Dahin gehören γ Widder, die beide der 5. Größe sind, Kastor der 3. und 4., γ Jungfrau nahe der 3. und 3., ξ großer Bär der 4. und 5. γ Löwe der 2. und 4., α Centaur der 1. und 3. Größe, u. s. w.

Aus den Untersuchungen von W. Struve folgt, daß die Zahl der einfachen Sterne die der Doppelsterne nur um das drei-, vielleicht auch nur um das zweifache übertrifft. Dabei ist jedoch zu bemerken, daß dies nur für die helleren Sterne, nämlich für die der ersten Größenklassen, gilt, und daß die Doppelsterne desto seltener werden, je kleiner die Sterne selbst sind. Diese Erscheinung dürfte aber wohl nur scheinbar sein, indem sie darin eine genügende Erklärung findet, daß der eine der beiden Sterne gewöhnlich viel kleiner als der andere ist und bei an sich kleineren Sternen wegen Lichtschwäche sich oft der Wahrnehmung entziehen muß. Bemerkenswert ist es übrigens, daß die Anzahl der Doppelsterne der ersten Herschel'schen Klasse unverhältnismäßig groß ist. Wenn nämlich die Doppelsterne größtenteils nur optisch oder bloß scheinbar doppelt wären, so müßten die der vierten Klasse die häufigsten und die der ersten die seltensten sein. Da die Flächen der Kreise von 4, 8, 16 und 32 Sekunden Halbmesser sich wie die Zahlen 1, 4, 16 und 64 verhalten, so müßten sich die Zahlen der Doppelsterne, wenn sie bloß optisch wären, in den vier Klassen wie 1, 3, 12 und 48 verhalten, so daß also von 64 optischen Doppelsternen nur ein einziger von der ersten, 3 von der zweiten, 12 von der dritten und 48 von der vierten Klasse sein müßten. Schon W. Struve kannte aber beiläufig 1450 Doppelsterne der vierten Klasse, so daß, wenn diese alle optische Doppelsterne wären, der 3. Klasse nur 362, der zweiten 91 und der ersten 30 zukommen könnten. Allein den Beobachtungen nach hatten sich für die 3. und 2. Klasse je 1310 und für die erste 1930 ergeben. Der gänzliche Mangel an Übereinstimmung zeigt, daß die Doppelsterne der ersten Klasse fast ausschließlich wahre oder physisch doppelte Sterne sein müßten und daß dies auch noch für die meisten Sternpaare der 2. und 3. Klasse gilt. Der physische Conner wird übrigens um so wahrscheinlicher, wenn beide Sterne zu den größeren zählen, und überdies einander sehr nahe stehen, wie beispielsweise unter den oben erwähnten bei Kastor, wo die Distanz 5″, bei γ Löwe, wo sie kaum 3″ beträgt u. s. w.*)

*) Indem wir in das Detail der hier und in den zwei folgenden Kapiteln zu betrachtenden Gegenstände eingehen, können wir nicht umhin, Liebhabern der Astronomie, die sich durch Autopsie belehren wollen, die trefflichen Handbücher von T. W. Webb: „Celestial Objects for common telescopes", London, und Klein: Anleitung zur Durchmusterung des Himmels", die auch in Bezug auf die Topographie des Planetensystemes viel Interessantes enthalten, bestens zu empfehlen.

Was die Verteilung der Doppelsterne am Himmel betrifft, sind diejenigen Gegenden, die überhaupt nur wenig einfache Sterne enthalten, z. B. die der Jagdhunde, des Drachen, der Bildhauerwerkstätte, also überhaupt die in der Nähe der beiden Pole der Milchstraße gewöhnlich auch an Doppelsternen arm. Wie man sich aber der Milchstraße nähert, nimmt die Zahl der einfachen sowohl als auch der doppelten Sterne schnell zu. Aber auch außer der Milchstraße giebt es einzelne an Doppelsternen sehr reiche Gegenden, wie die Sternbilder des Widders, des Schwanes, der Fliege, der Zwillinge und besonders das des Orion.

Nicht selten sieht man auch zwei Doppelsterne auf einmal in dem Felde des Fernrohrs. Dies ist z. B. der Fall bei ε Leier, χ Schwan, v Skorpion, im Herkules bei AR $= 246^0\ 52'$ D $= +19^0\ 29'$, im großen Bär bei AR $= 166^0\ 20'$ D $= +66^0\ 37'$ u. a.

Auch kommt es, wiewohl selten, vor, daß sogar drei Doppelsterne auf einmal sich im Gesichtsfelde des Fernrohres befinden, wie bei η Leier, im Wassermann bei AR $= 324^0\ 38'$ D $= -0^0\ 13'$, im Antinous bei AR $= 293^0\ 10'$ D $= -10^0\ 33'$, in der Kassiopeja bei AR $= 16^0\ 9'$ D $= +50^0\ 32'$.

§ 187. (Drei und mehrfache Sterne.) Zuweilen bemerkt man auch drei Sterne in auffallender Nähe beieinander. Beispiele hierfür sind ζ Krebs, δ Perseus, λ Schwan, 7 Stier (AR $= 52^0\ 8'$ D $= +24^0\ 8'$), 12 Luchs (AR $= 99^0\ 21'$ D $= +59^0\ 33'$). Nicht selten ist übrigens der Hauptstern einfach und der Begleiter ein enger Doppelstern. Dies ist unter anderen der Fall bei γ Andromeda, ψ Kassiopeja, μ Herkules, o^2 Eridanus (AR $= 62^0\ 40'$ D $= -7^0\ 46'$).

Auch vierfache Sterne finden sich am Himmel vor, von denen β Delphin ein hübscher, wenn auch ziemlich schwieriger Repräsentant ist. Dabei kommt es öfter vor, daß das Sternsystem eigentlich bloß ein dreifaches ist und nur dadurch zu einem vierfachen wird, daß wie bei ξ Orion und im Delphin bei AR $= 306^0\ 36'$ D $= +10^0\ 55'$ der nähere, oder in der Andromeda bei AR $= 21^0\ 46'$ D $= +35^0\ 20'$ der entferntere Begleiter ein enger Doppelstern ist.

Für einen vierfachen Stern galt auch lange Zeit hindurch ϑ Orion, der nahe in dem dunkelsten Teile des merkwürdigen Nebels im Orion steht und zufolge der besonderen relativen Stellung der vier Sterne das Trapez im Orion genannt wird. Im Jahre 1825 entdeckte aber W. Struve in diesem Trapez noch einen 5. und später (1832) J. Herschel einen 6. Stern, die jedoch beide schwer zu sehen, vielleicht auch veränderlich (Kap. XVII) sind. (Siehe Atl. d. g. H., Fig. 3.) In neuerer Zeit will man auch im Innern des Trapezes mehrfach ein Sternchen haben aufleuchten sehen, so daß ϑ Orion eigentlich ein siebenfacher Stern wäre. Übrigens ist der Fall gar nicht selten, daß ein Stern zuerst doppelt oder dreifach gesehen und längere Zeit nachher weitere Begleiter aufgefunden wurden. So wurde der schon früher erwähnte Stern v Skorpion von Christ. Meyer 1776 als Doppelstern erkannt; im Jahre 1846 fand Mitchell, daß der Begleiter wieder ein enger Doppelstern sei, und 1874 gelang es Burnham,

auch noch den Hauptstern zu doublieren. Ähnlich verhält es sich mit β Delphin. W. Herschel fand bloß den entfernteren Begleiter auf und beschreibt deshalb diesen Stern als Doppelstern; er wurde aber zu einem dreifachen, als 1830 J. Herschel den mittleren Begleiter entdeckte, und ist seit 1873 ein vierfacher, wo Burnham noch einen sehr engen Akolythen des Hauptsternes auffand.

Ohne die übrigen vielfachen Sterne hier noch weiter zu verfolgen, bemerken wir nur, daß in der Nähe von α Hase bei AR = 83° 43′ D = — 17° 53′ ein sechsfacher oder, da nach Burnham zwei dieser Sterne selbst wieder enge Doppelsterne sind, richtiger gesagt, ein achtfacher Stern sich vorfindet, und daß W. Struve σ im Orion unmittelbar unter dem südlichsten der drei Sterne, die unter dem Namen des Jakobsstabes bekannt sind, sogar als einen sechzehnfachen Stern erkannt hat.

§ 188. (Farben der Doppelsterne.) Noch haben wir eine Eigentümlichkeit dieser Sternpaare zu erwähnen, die selbst für einen flüchtigen Anblick derselben zu auffallend ist, als daß sie hier übergangen werden dürfte.

Unter den einfachen Sternen des Himmels sieht man gewöhnlich nur solche, die in weißem Lichte glänzen, das mehr oder weniger der gelben Farbe sich nähert und nur selten in eine rötliche übergeht: blaue und grüne Sterne findet man unter ihnen fast nie. Nicht so ist es bei den Doppelsternen. Bei diesen hat gewöhnlich der größere oder der Hauptstern eine weiße Farbe, die, ganz wie bei den einfachen Sternen, häufig ins Gelbe, seltener ins Rote fällt, während der ihn begleitende Satellit zuweilen blau oder grün ist. Doch giebt es auch andere, obgleich seltenere Fälle, wo der große weiß oder gelb und der kleine rot, oder wo der große orange und der kleine grün u. s. w., und häufig erscheinen diese Farben so ausgesprochen und lebhaft, daß sie schon auf den ersten flüchtigen Blick auffallend hervortreten.

Nach einer Untersuchung von Doberck über die Farben der in den Mens. micr. enthaltenen Doppelsterne sind unter den 270 dort verzeichneten Paaren 192mal die Farben des Hauptsternes und des Akolythen gleich oder wenigstens sehr ähnlich. Diese Paare gehören größtenteils den engen Doppelsternen an, und da bei diesen die Größen beider Sterne meist nahe gleich sind, stimmt dies mit der schon von Struve gemachten Bemerkung, daß die Farben im allgemeinen desto ungleicher werden, je stärker der Größenunterschied der beiden Komponenten ist. Aber auch bei den 72 übrigen Paaren findet man beim Hauptsterne nie Farben von der stärker brechbaren Seite des Spektrums (wie Grün und Blau), sondern stets nur von der weniger brechbaren, und es werden die am häufigsten vorkommenden bläulichen Begleiter desto zahlreicher, je größer die Distanz ist. Peirce hält dies für eine subjektive Erscheinung, da er nachgewiesen haben will, daß von zwei nahe aneinander befindlichen gleichgefärbten Lichtquellen von ungleicher Intensität aus physiologischen Gründen die schwächere eine dem brechbareren Teile des Spektrums angehörende Färbung anzunehmen scheint, also bei

gelben Lichtquellen die schwächere einen Stich ins Blaue erhält. Beispiele hierfür liefern uns λ Widder, ε Perseus, β Cepheus, ι Kassiopeja u. a., wo neben dem großen weißen Stern ein blauer Begleiter sich findet, oder α Walfisch, β Schwan, ο Cepheus u. a., wo dies bei dem gelben Hauptsterne der Fall ist.

Auf einem ähnlichen Prinzipe beruht der Versuch, die Farben der Doppelsterne auf Kontrastwirkung zurückzuführen. Bringt man nämlich einer schwach erleuchteten weißen Fläche ein gefärbtes intensives Licht nahe, so erscheint sie sogleich in der komplementären Farbe (§ 7) jenes Lichtes. Wird z. B. einem matt erleuchteten weißen Papiere ein rotes Licht genähert, so erscheint es grün; war jenes Licht gelb, so violett, war es endlich blau, so orangefarb. Aus dieser Ursache erblickt man auch eine weiße Wand voll violetter Flecke, wenn man kurz zuvor das Auge gegen die Sonne gerichtet hat. Es hat nun Zöllner in der That nachgewiesen, daß die Farbe eines Sternes durch die Nähe eines anders gefärbten sehr beeinflußt wird. Bringt man nämlich in dem von ihm erdachten Photometer einen künstlichen Stern möglichst nahe an einen weißen, so daß beide den Eindruck eines Doppelsternes machen, und erteilt man dann dem künstlichen Sterne verschiedene Farben, so wird man überrascht durch die auffallend komplementäre Färbung, die der natürliche Stern annimmt. Beispiele für eine solche Zusammenstellung giebt es aber genug. So ist bei γ Andromeda der große rot und der kleine grün, bei 57 großer Bär (AR = $11^h\,23{\cdot}7^m$ D = $+49^o\,53'$) der große weißgelb, der kleine violett, bei σ Krone, ι Krebs der große orange und der kleine blau u. s. w. Nach Pickering rührt die Täuschung bei jenen Sternen, wo der Hauptstern rot oder gelb, der Begleiter grün oder blau ist, daher, daß der erstere ein Spektrum II. Klasse, der letztere aber eines I. Klasse besitzt.

Es fehlt indes auch nicht an Farbenverbindungen, welche durch Kontrastwirkung sich nicht erklären lassen. So ist bei γ Krone der große gelb, der kleine rot und ähnlich auch bei ξ Bootes; hingegen bei ε Bootes, ζ Krone und ϱ Herkules der große weißgelb, der kleine grün; bei γ Delphin der große orange, der kleine grünlich; bei κ Argo sogar der große blau, der kleine dunkelrot u. s. w. In vielen Fällen kann man sich von dem subjektiven oder objektiven Charakter der Farben dadurch überzeugen, daß man den größeren mit einem im Brennpunkte des Fernrohres ausgespannten dicken Faden bedeckt, und zusieht, ob dann der kleine, wenn er auf diese Weise allein im Fernrohre erscheint, noch immer seine frühere Farbe behält. Dies ist in der That häufig der Fall, zum Beweise, daß diese Farbe den kleineren Sternen eigentümlich ist. Indes muß doch auch hervorgehoben werden, daß die Farbennuancen in der Regel so schwach sind, daß sie nur für sehr empfindliche Augen merkbar werden, und daß infolgedessen, wie leicht begreiflich, die Farbenangaben verschiedener Beobachter sehr stark von einander abweichen. So schätzten namentlich die beiden Herschel die Farben immer mehr gegen das untere (rote und gelbe) Ende des Spektrums hin, als Beobachter an Refraktoren. Der Grund dafür dürfte einerseits in den Metallspiegeln der

Herschel'schen Teleskope liegen, die bekanntlich der höheren Politur wegen viel Kupfer enthielten, welches den roten und gelben Lichtstrahlen ein Übergewicht gegen die blauen und grünen gegeben haben mag, andererseits in der grünlichen Färbung des Kronglases, die man bei den älteren achromatischen Fernrohren so oft antrifft, wodurch umgekehrt gerade die gelben und roten Farben eine Schwächung erleiden.

§ 189. (Bewegungen der Doppelsterne.) Es wurde bereits oben (§ 183) erwähnt, daß jeder Fixstern außer den allen Gestirnen gemeinschaftlichen Bewegungen der Präzession, Aberration und Nutation noch eine Eigenbewegung habe, deren Grund zum Teil in der Bewegung des Sonnensystems, zum Teil aber in realen Ortsveränderungen der Sterne selbst liegt.

Solche Eigenbewegungen bemerkt man natürlich auch bei den Doppelsternen. Wenn nun beide Komponenten eines solchen genau dieselbe Eigenbewegung zeigen, so kann man wohl nicht weiter zweifeln, daß solche Sterne zusammen ein besonderes System bilden und nicht bloß optisch miteinander verbunden sind. Einer der merkwürdigsten unter diesen ist der bereits mehrfach erwähnte Zwillingsstern 61 im Schwan. Man findet ihn am Himmel zwischen den beiden größeren v und τ dieses Sternbildes beinahe in der Mitte derselben, in $AR = 315^0\ 37'$ $D = +38^0\ 15'$.

Wenn hingegen die beiden Komponenten eines Doppelsternes nicht dieselbe Eigenbewegung besitzen, wenn beispielsweise der hellere Stern eine merkbare zeigt, welche der schwächere nicht teilt, dann ist es ein ebenso sicheres Zeichen, daß beide Sterne sich für uns nur zufällig in derselben Gesichtslinie befinden oder bloß für eine Zeit lang optisch miteinander verbunden sind. Ein Beispiel hierfür bietet α Andromeda. Im Jahre 1781 fand W. Herschel in einer Entfernung von 59″ einen schwachen Begleiter 11. Größe, von dem sich aber α Andromeda, wie die Folgezeit lehrte, jährlich um einen seiner Eigenbewegung entsprechenden Betrag (0·13″) entfernt, so daß seine Distanz mittlerweile auf 72″ gestiegen ist. Dasselbe findet bei einem Doppelsterne im Luchs ($AR = 129^0\ 39'$ $D = +42^0\ 3'$) statt, dessen Komponenten die 8. und 9. Größe besitzen. Sie standen nach W. Struve im Jahre 1828 in einer Entfernung von 4·9″, während dieselbe (1884 bereits 44″ betrug, da der hellere der beiden Sterne mit einer jährlichen Eigenbewegung von 0·67″ an dem schwächeren vorüberzieht. Das Minimum der Distanz muß um das Jahr 1822 stattgefunden und beiläufig 1·9″ betragen haben; seit jener Zeit gehen die beiden Sterne wieder auseinander, werden fort und fort ihre gegenseitige Distanz vergrößern und so nach und nach die charakteristische Eigenschaft, einen Doppelstern zu bilden, verlieren. Sehr interessant ist in dieser Beziehung auch der Stern 3. Größe 41 Widder ($AR = 41^0\ 1'$ $D = +26^0\ 51'$), der mit drei Sternen 11., 10. und 9. Größe in Abständen von 19″, 36″ und 127″ zu einem vierfachen Sterne, aber bloß optisch verbunden ist. Aber auch wirkliche Doppelsterne sind zuweilen mit benachbarten kleinen Sternen

zu drei- und mehrfachen Systemen optisch vereinigt. Dies ist beispielsweise bei dem schönen Doppelstern in AR = 181° 5′ D = − 11° 19′ in der Jungfrau der Fall, dessen gelber Hauptstern von einem purpurfarbigen Akolythen in 12″ Entfernung begleitet ist, während noch ein anderer kleiner Stern von gelber Farbe seit seiner Auffindung durch Struve im Jahre 1831 sich dem Paare von 58″ bereits auf 39″ genähert hat. Ebenso besitzt der sehr enge Doppelstern δ Füllen in einer Entfernung von 38″ einen optischen Begleiter 10. Größe; der schöne Doppelstern σ nördl. Krone bildet mit zwei in Entfernungen von 16″ und 54″ stehenden Sternchen, an denen er rasch vorübereilt, einen vierfachen Stern, u. s. w. Besonders interessant in dieser Beziehung ist ϰ Pegasus, weil er mit einem nur 10″ von ihm abstehenden Sterne 11. bis 12. Größe blos optische, hingegen mit einem in einer Entfernung von 3′ 45″ südöstlich sich befindenden 8. Größe physisch verbunden ist.

Wenn aber eine gemeinschaftliche Bewegung der beiden Komponenten eines Doppelsternes, wie wir oben hervorgehoben haben, schon deutlich für ihr Zusammengehören spricht, so wird durch eine andere Bewegung, die man bereits an vielen von ihnen bemerkt hat, diese Vermutung zur Gewißheit erhoben; man hat nämlich schon bei vielen dieser Sternenpaare eine Bewegung des einen Sternes um den anderen beobachtet. Der Begleiter beschreibt um seinen Zentralstern als um einen Mittelpunkt eine elliptische Bahn, ganz ebenso wie die Planeten um die Sonne oder die Satelliten um ihre Hauptplaneten.

Wenn man nämlich bei Doppelsternen die Distanz Δ derselben und den Positionswinkel Π zu zwei oder mehr verschiedenen Zeiten beobachtet, so findet man, daß sich diese Größen regelmäßig ändern und daß der Winkel Π insbesondere sich sehr rasch ändert: ja es sind bereits mehr als ein Dutzend Fälle bekannt, wo er seit der Entdeckung des Doppelsternes bereits mehr als eine volle Revolution vollendet hat. Liegt dabei die Bahnebene so schief gegen unsere Gesichtslinie, daß sie uns nahe wie eine gerade Linie erscheint, so wird der Begleiter um seinen Zentralstern eine gerade, durch diesen Stern gehende Linie zu beschreiben scheinen, und wenn er demselben auf diesem Wege nahe genug kommt, ihn entweder bedecken oder von ihm bedeckt werden, je nachdem er, in Beziehung auf uns, vor oder hinter seinem Zentralkörper vorübergeht. Dies ist z. B. der Fall mit den Doppelsternen ι Bootes, γ nördliche Krone, ζ Herkules, ξ Skorpion, γ Jungfrau u. a. Bei solchen Bahnlagen kommt es dann natürlich öfter vor, daß ein Doppel- oder dreifacher Stern eine Zeit lang bloß einfach oder doppelt gesehen wird, sowie umgekehrt, daß ein früher einfacher Stern nach einiger Zeit doppelt erscheint. So sah Herschel im Jahre 1782 ζ Herkules als einen engen Doppelstern; 1795 hingegen konnte er, trotz aller Mühe, die er darauf verwendete, den Begleiter nicht wiederfinden, sah also, nebenbei bemerkt, an diesem Objekte die erste Bedeckung zweier Sterne. Erst im Jahre 1826 trat der Begleiter so weit aus den Strahlen des Hauptsternes hervor, daß ihn Struve

wieder bestimmt wahrnehmen konnte. ξ Skorpion wurde 1782 von Herschel dreifach gesehen; von 1858 bis 1863 blieb aber der enge Begleiter unsichtbar, während jetzt seine Trennung wieder wenig Schwierigkeiten verursacht. Ebenso zeigte sich 25 Jagdhunde (AR = 203° 15′ D = + 36° 48′) zwischen 1856 und 1876, also durch volle 20 Jahre stets einfach, nachdem sich die Distanz des Akolythen von 1827 an, wo sie noch etwas mehr als 1″ betrug, immer mehr verkleinert hatte. Jetzt treten wieder beide Sterne, wiewohl sehr langsam, auseinander. Ganz ähnlich verhält es sich mit dem schönen Doppelsterne γ Jungfrau, wo die Distanz beider Komponenten um das Jahr 1836 so klein wurde, daß man schon einer Bedeckung entgegensah; allein seitdem wächst die Distanz wieder und ist jetzt so bedeutend, daß die Trennung der beiden Sterne schon mit sehr mittelmäßigen optischen Hilfsmitteln gelingt.

Bei manchen Sternenpaaren hat man auch bereits mehrere Bedeckungen beobachtet. So erschien γ nördliche Krone in den Jahren 1833 bis 1838 bloß einfach, und wurde es 1875 abermals; bei 42 α Haupthaar tritt dieser Fall alle 11 Jahre ein, und auch δ Füllen, überhaupt eines der schwierigsten Objekte konnte 1854, 1865, 1874 u. s. w. nicht getrennt werden.

§ 190. (Bahnbestimmung der Doppelsterne.) Als man bei einigen Doppelsternpaaren eine Bahnbewegung erkannt hatte, wurde natürlich sofort der Wunsch rege, etwas Näheres über die Natur und Beschaffenheit derselben zu erfahren. Geht man von der Voraussetzung aus, daß das Newton'sche Gravitationsgesetz auch in jenen Fernen Gültigkeit habe, woran zu zweifeln kein plausibler Grund vorhanden ist, so müssen, wie die Planeten um die Sonne, so auch die Akolythen um ihren Hauptstern, oder richtiger beide Sterne um den gemeinsamen Schwerpunkt des Systemes Ellipsen beschreiben. Zur vollständigen Erkenntnis der Bahn sind daher im Grunde dieselben Elemente erforderlich, wie bei den Planeten unseres Sonnensystemes (I, § 82). Die Sache gestaltet sich nur insofern etwas anders, als jetzt Umlaufszeit und halbe große Achse als unabhängig von einander angenommen werden müssen, da man die Masse des Systemes nicht kennt (I, § 78): man hat daher eine Unbekannte mehr zu ermitteln, dafür tritt jedoch die Erleichterung ein, daß die Ortsveränderung der Erde wegen der großen Entfernung der Fixsterne ohne Einfluß auf die scheinbare Bahnbewegung ist. Eine sehr erhebliche Komplikation entsteht hingegen dadurch, daß wir nicht die wahre vom Begleiter beschriebene Bahn sehen, sondern deren Projektion auf der Himmelskugel, und daß wir daher von dieser erst auf jene zurückschließen müssen. Das Problem wird infolgedessen so verwickelt, daß man ohne den Gebrauch mathematischer Formeln keine nähere Andeutung davon geben kann. Wir wollen uns daher begnügen, die Elemente in der Form, in der sie hier aus den Beobachtungen abgeleitet werden müssen, anzuführen. Sie sind: 1. die große Achse der Ellipse, d. h. die Anzahl Sekunden, unter welchen uns diese Achse erscheinen würde, wenn sie senkrecht auf der Gesichtslinie stände, 2. die Excentricität dieser

Ellipse, 3. die Neigung, worunter der Winkel der Bahnebene des Nebensternes mit derjenigen Ebene zu verstehen ist, welche an der Stelle, wo sich der Doppelstern vorfindet, die Himmelssphäre berührt, 4. die Länge des Knotens, hier der Winkel zwischen dem Deklinationskreise des Hauptsternes und dem Durchschnitte der Bahnebene mit jener berührenden Ebene, 5. die Länge des Periastrums, oder der Winkel, welchen die große Achse der Bahn mit der Knotenlinie bildet, 6. die Zeit, zu welcher der Sternsatellit durch das Periastrum geht. Wenn möglich, sind noch Entfernung und Masse der betreffenden Gestirne zu bestimmen.

Der Erste, der eine Bahnbestimmung der Doppelsterne ausführte, ist Savary, der seine Methode 1830 veröffentlicht und dieselbe auch sogleich auf den merkwürdigen Doppelstern ξ großer Bär mit viel Glück angewendet hat. Einen ähnlichen Versuch hat nach ihm Encke 1832 bekannt gemacht und seine sehr eleganten Ausdrücke auf den Doppelstern 70 p Ophiuchus angewendet. Beide haben ihren Rechnungen nur ebensoviele Distanzen Δ und Positionswinkel Π aus den Beobachtungen zu Grunde gelegt, als zu ihrem Zwecke unmittelbar nötig sind. Sir J. Herschel hat dafür ein anderes sinnreiches Verfahren gegeben, die Bahnen dieser Gestirne zu bestimmen, in welchem er die beobachteten Distanzen Δ als zu unverlässig völlig ausschließt und dafür alle Positionswinkel, welche man beobachtet hat, seiner Rechnung oder vielmehr seiner graphischen, durch Rechnung unterstützten Methode zu Grunde legt. Schöne Lösungen des Problemes gaben später noch Klinkerfues, Thiele, Seeliger, Glasenapp, Kowalsky, See u. a.

Die Bahnen der Doppelsterne, deren Umlaufszeit eines oder mehrere Jahrhunderte nicht übersteigt, besitzen, abgesehen von einigen ganz vereinzelten Ausnahmen, nur sehr geringe Dimensionen. Es genügen daher bereits äußerst kleine Beobachtungsfehler, sie wesentlich zu entstellen, was, verbunden mit dem Umstande, daß die meisten dieser Bahnen sehr excentrisch sind, im allgemeinen eine halbwegs sichere Bestimmung der Elemente, namentlich der Umlaufszeit, erst dann gestattet, wenn der Akolyth um seinen Hauptstern einen großen Teil des Umlaufes zurückgelegt hat. Wir haben daher in der folgenden Tabelle nur ein Dritteil der etwa 100 bisher berechneten Doppelsternbahnen zusammengestellt, die bereits so sicher sind, daß sie wohl keine durchgreifenden Änderungen mehr erfahren dürften. In dieser Tabelle giebt die zweite Kolumne die herkömmliche Bezeichnung des fraglichen Sternes, wobei Σ den großen Katalog von W. Struve mit der dort vorkommenden Nummer, $O\Sigma$ die von O. Struve und β die von Burnham hinzugefügten Doppelsterne bedeutet, die 5. Kolumne enthält die Größen der beiden Komponenten, durch ein Komma getrennt, die 12. die Umlaufszeit in Jahren, die 3. und 4. die Position des Hauptsternes auf 1900 bezogen. Die 13. Kolumne endlich zeigt an, ob bei der Bewegung des Akolythen die Positionswinkel wachsen (D) oder abnehmen (R); die übrigen Kolumnen bedürfen nach dem obigen keiner weiteren Erläuterung.

Nr.	Name	Rektasc.	Dekl.	Größen	Periastr.	Länge des Knotens	Knot.-Distanz d. Periastr.	Neigung	Halbe große Achse	Excentricität	Umlaufszeit	Bew.	Berechner	Nr.
1	$\varkappa$ Pegasus . . .	21h 40·1m	+ 35° 11′	4·8, 5·3	1896·03	116° 15′	89° 12′	81° 12′	0·422″	0·49	11·4	R	See	1
2	δ Füllen . . .	21 9·6	+ 9 37	4·1, 5·0	1892·80	22 12	0 0	79 3	0·452	0·14	11·5	R	See	2
3	β 883	4 45·6	+ 10 55	7·0, 7·0	1890·42	69 42	155 0	28 30	0·24	0·48	16·4	D	Glasenapp	3
4	85 Pegasus . .	23 56·9	+ 26 33	6·0, 11·0	1884·21	307 19	69 44	66 44	0·80	0·164	17·5	D	Glasenapp	4
5	20 Perseus . .	2 47·4	+ 37 56	7·0, 7·0	1884·96	133 2	263 42	73 37	0·25	0·478	20·8	R	Glasenapp	5
6	9 Argus	7 47·1	− 13 38	5·6, 6·7	1892·30	95 30	75 17	77 43	0·655	0·70	22·0	D	See	6
7	β Delphin . .	20 33·2	− 1 27	3·5, 11·0	1882·38	174 24	344 11	64 38	0·51	0·284	24·2	D	Glasenapp	7
8	42α Haupthaar	13 5·2	+ 18 4	6·0, 6·0	1885·63	11 0	99 11	90 0	0·657	0·480	25·7	·	Dubiago	8
9	ζ Herkules . . .	16 37·5	+ 31 47	3·0, 6·5	1864·78	44 6	251 47	44 32	1·345	0·467	34·4	R	Doberck	9
10	Σ 3121	9 11·9	+ 29 2	7·5, 7·8	1878·52	24 50	129 27	75 26	0·673	0·309	34·6	D	Celoria	10
11	η nördl. Krone	15 19·1	+ 30 39	5·2, 5·7	1892·35	25 43	218 22	59 41	0·892	0·267	41·6	D	Doberck	11
12	μ Herkules . .	17 42·6	+ 27 47	9·5, 10·5	1880·14	62 7	181 6	67 1	1·369	0·214	45·4	D	Leuschner	12
13	221 Ophiuchus	17 25·3	− 0 59	5·8, 6·1	1869·50	153 42	322 12	80 45	1·143	0·20	46·0	R	See	13
14	$O\Sigma$ 269	13 28·3	+ 35 25	7·2, 7·7	1883·12	51 56	43 31	82 49	0·58	0·058	47·7	D	Gore	14
15	Sirius	6 40·7	− 16 35	1·0, 10·0	1893·61	37 31	39 56	42 25	7·568	0·629	49·4	R	Auwers	15
16	99b Herkules .	18 3·2	+ 30 33	6·0, 11·5	1885·58	50 5	110 44	38 37	1·12	0·793	53·6	D	Gore	16
17	$O\Sigma$ 298	15 32·4	+ 40 9	7·0, 7·3	1882·86	2 8	21 54	65 51	0·884	0·584	56·6	D	Celoria	17
18	ζ Krebs	8 6·5	+ 17 58	5·0, 5·7	1868·12	80 11	109 44	11 8	0·86	0·382	59·1	R	Seeliger	18
19	ξ großer Bär .	11 12·9	+ 32 7	4·0, 5·5	1875·22	100 48	126 20	55 55	2·508	0·397	60·0	R	See	19
20	γ Centaur . . .	12 36·0	− 48 25	4·0, 4·0	1840·84	177 57	46 49	84 6	1·50	0·632	61·9	R	Gore	20
21	$O\Sigma$ 285	14 41·7	+ 42 48	7·0, 7·2	1885·3	54 18	180 0	44 18	0·387	0·429	62·1	R	Burnham	21
22	α Centaur . . .	14 32·7	− 60 25	1·0, 3·5	1875·72	25 6	52 1	79 22	17·71	0·529	81·2	D	Roberts	22
23	70p Ophiuchus	18 0·4	+ 2 32	4·1, 6·1	1896·47	121 19	168 18	60 5	4·60	0·475	88·4	R	Schur	23
24	φ großer Bär.	9 45·3	+ 54 33	5·0, 5·6	1885·37	165 42	19 0	34 42	0·294	0·453	91·9	D	Glasenapp	24
25	γ nördl. Krone	15 38·5	+ 26 36	4·0, 7·0	1843·7	111 0	239 0	83 0	0·75	0·387	95·5	R	Doberck	25
26	Σ 3062	0 1·0	+ 57 53	6·9, 8·0	1836·26	47 9	90 54	43 51	1·371	0·450	104·6	D	See	26
27	ξ Skorpion . .	15 58·9	− 11 5	4·9, 5·2	1862·32	10 27	102 37	67 38	1·309	0·122	105·2	D	Schorr	27
28	ω Löwe	9 23·1	+ 9 30	6·2, 7·0	1842·10	146 42	124 13	63 28	0·882	0·537	116·2	D	See	28
29	37 Pegasus . .	22 24·9	+ 3 55	6·0, 7·5	1885·51	120 10	154 33	80 46	0·64	0·784	117·5	D	Gore	29
30	25 Jagdhunde .	13 33·0	+ 36 48	5·0, 7·6	1863·04	42 22	245 0	33 20	0·81	0·722	119·9	R	Doberck	30
31	Σ 2525	19 22·5	+ 27 7	7·2, 7·3	1887·12	78 19	4 19	54 0	0·75	0·802	138·5	R	Gore	31
32	γ Jungfrau . .	12 36·6	− 0 53	3·0, 3·0	1836·53	50 24	270 0	31 0	3·989	0·897	194·0	D	See	32
33	η Kassiopeja . .	0 42·9	+ 57 17	4·0, 7·6	1908·9	47 6	214 10	47 36	8·45	0·50	208·1	D	Lewis	33
34	ι Ophiuchus . .	17 57·6	− 8 11	5·0, 5·7	1821·91	65 26	41 24	58 42	1·193	0·606	217·9	D	Doberck	34
35	μ^2 Bootes . . .	15 20·7	+ 37 43	6·7, 7·3	1865·30	163 48	329 45	43 54	1·268	0·537	219·4	R	See	35

Die Zahl der gut bestimmten Doppelsternbahnen wird sich im Laufe der nächsten Jahre rasch vermehren lassen, da viele der zahlreichen von Burnham entdeckten sehr engen Paare eine so kurze Umlaufszeit besitzen, daß sie bereits jetzt einen sehr bedeutenden Teil ihrer Bahn zurückgelegt haben. Dahin gehören unter anderen ζ Schütze, β 612 (AR $= 13^h\ 35{\cdot}0^m$ Dekl. $= +11^\circ\ 16'$), β 416 (AR $= 17^h\ 12{\cdot}1^m$ Dekl. $= -34^\circ\ 53'$), τ Schwan, für welche provisorische Berechnungen Umlaufszeiten von resp. 18, 30, 34·5 und 36·5 Jahren ergeben haben.

§ 191. (Näheres über einige Doppelsterne.) In den folgenden Bemerkungen halten wir uns zunächst an die Nummern der vorstehenden Tafel.

1. Eigentlich ein dreifacher Stern. Die weitere Komponente 9. Größe in 12″ Abstand wurde schon von W. Herschel aufgefunden, die Duplizität des Hauptsternes aber erst 1880 von Burnham erkannt.

2. Galt längere Zeit hindurch für die kürzeste Umlaufszeit, bis ihr $\varkappa$ Pegasus den Rang ablief. Die Bahn steht wie bei Nr. 8 fast senkrecht auf unserer Gesichtslinie, weshalb die Positionswinkel sich nur sprungweise um 180° ändern. Dabei übersteigt selbst in der größten Elongation der Abstand beider Komponenten kaum 0·5″; der Stern, dessen Duplizität am 19. August 1852 von O. Struve aufgefunden wurde, ist deshalb stets nur mit kräftigen Instrumenten zu trennen.

3. Wieder ein dreifacher Stern; der sehr schwache entferntere Begleiter steht vom engen Paare 18″ ab. Wurde 1879 von Burnham entdeckt und konnte 1891 nicht getrennt werden.

4. 85 Pegus besitzt eine große Eigenbewegung von jährlich 1·29″ und nach Brunnow eine Parallaxe von 0·05″. Diese Parallaxe liefert für die Größe der Halbachse 16 Sonnenweiten, und für die Masse des Systems die 13·4fache der Sonnenmasse.

5. Den entfernteren Begleiter in 14″ Distanz fand bereits 1783 W. Herschel; die Doublierung des Hauptsternes gelang aber erst 1878 Burnham.

6. Hat eben einen Umlauf vollendet, da er am 11. März 1873 von Burnham als Doppelstern erkannt wurde. Ganz ähnlich verhält es sich auch beim folgenden Stern β Delphin.

8. Der 1827 von W. Struve entdeckte Doppelstern, α Haupthaar der Berenice ist besonders merkwürdig, weil die beiden Komponenten sich im Durchschnitte alle 12 Jahre gegenseitig bedecken (1834, 1845, 1860, 1871 u. s. w.), und weil die Bahn des Akolythen sehr nahe in der Gesichtslinie liegt, so daß der Positionswinkel stets nahe 11° oder 191° beträgt.

9. Bei der Entdeckung von ζ Herkules (1872) fand W. Herschel den Positionswinkel 69° und die Distanz nahe 1″; i. J. 1795 sah er das Doppelgestirn nur noch länglich, 1802 aber entschieden einfach. Diese Beobachtung ist historisch von Bedeutung als die erste vermeintliche Bedeckung eines Fixsternes durch einen andern. Herschel bemerkt bei dieser Gelegenheit: „Meine Messungen dieses Sternes zeigen uns eine Erscheinung, die in der Astronomie ganz neu ist,

nämlich die Bedeckung eines Fixsternes durch einen andern. Dieses Ereignis ist jedenfalls merkwürdig, was auch die Ursache davon sein mag, ob eine Parallaxe, oder eine eigene Bewegung, oder die Bewegung in einer Bahn, deren Ebene mit der Gesichtslinie zum Sterne nahe zusammenfällt." — Höchst interessant sind auch die folgenden Beobachtungen desselben Sternes. J. Herschel und South sahen 1821 bis 1825 keine Spur des Begleiters, was um so auffallender ist, als nach den späteren Beobachtungen und Rechnungen die Distanz damals nicht kleiner als 1″ gewesen sein kann. Im Jahre 1826 sah ihn W. Struve in Dorpat deutlich, aber im Herbst 1828 war er wieder verschwunden; ebenso im Herbste 1829 und im Sommer 1831. Im Herbst 1832 beobachtete ihn Struve neuerdings und bestimmte die Distanz zu 0·8″. Im Jahre 1833 konnte man keine Duplizität bemerken, im Mai 1834 gelangen wieder Messungen. Vielleicht ist der Begleiter veränderlich.

11. An η nördl. Krone erkannte man zuerst unter allen Doppelsternen einen vollen Umlauf, wie J. Herschel i. J. 1823 durch Kombination seiner Beobachtungen mit denen seines Vaters von 1781 nachwies. Die geringe gegenseitige Distanz beider Sterne — sie beträgt in der Regel nur Teile einer Sekunde — und andere Umstände ließen die Bahnbestimmung lange zweifelhaft erscheinen.

12. μ Hercules ist eigentlich ein höchst interessantes Tripelgestirn. Der weiße Hauptstern 3. bis 4. Größe wird in einer Entfernung von 31″ von einem blauen Akolythen begleitet, der seit den Zeiten von Herschel seine Lage gegen den Hauptstern nur unbedeutend geändert hat, wie auch bei der großen Distanz von vornherein zu erwarten war. Im Jahre 1857 erkannte aber Dawes, daß der Akolyth selbst ein enger Doppelstern sei, und diese beiden rotieren so rasch umeinander, daß sie seither schon mehr als zwei drittel ihres Umlaufes vollendet haben.

13. 221 Ophiuchus, von W. Struve 1829 entdeckt, hat schon nahezu einen und einen halben Umlauf vollendet. Wegen der großen Neigung der Bahn gegen unsere Gesichtslinie kommen auch hier häufig so starke Annäherungen bei den Komponenten vor, daß das Gestirn wie in den Jahren 1836 und 1866 einfach erscheint.

15. Sirius. Wir kommen § 194 auf diesen Doppelstern besonders zurück.

18. Der Stern ζ Krebs ist wieder ein dreifacher. Die entferntere Komponente wurde bereits 1756 von T. Mayer beobachtet; sie hat die Größe 5·5, einen Abstand von 5″ vom Hauptsterne und inzwischen ihren Positionswinkel gegen denselben um etwa 80° geändert, während die nähere Komponente, seit 1781, wo sie von W. Herschel bemerkt wurde, schon nahezu zwei Umläufe vollendet hat. Sehr interessant ist dieses Sternpaar dadurch, daß Seeliger den Versuch gemacht hat, aus den Störungen, welche die 3 Körper gegenseitig auf einander ausüben, die Masse derselben zu bestimmen; ein Problem, von dem man bisher meinte, daß es seiner Schwierigkeiten wegen die Kräfte unserer Analyse übersteige. Das Resultat dieser Untersuchung ist, daß die Masse des entfernteren Begleiters etwa 2·37 mal größer sei, als die des Centralsternes und näheren Begleiters zusammen-

genommen. Seeliger kommt aber noch zu einem anderen sehr bemerkenswerten Resultate. Die Positionswinkel des entfernteren Begleiters zeigen einen so eigentümlichen Gang, daß man, wie schon O. Struve vermutete, Seeliger aber ausführlich begründete, annehmen muß, derselbe bewege sich um einen bisher noch unentdeckten also dunklen Körper von bedeutender Masse in seiner unmittelbaren Nähe. Die Umlaufszeit um diesen Körper berechnet er auf 17·6 Jahre, mit einer Halbachse von 0·22″ und einer Excentricität von 0·11. (Vgl. die ähnlichen Untersuchungen über Sirius und Prokyon § 194.)

19. An ξ Großer Bär gelang, wie wir wissen (§ 190), die erste Bestimmung einer Doppelsternbahn, und da der Begleiter seit den ersten Messungen von W. Herschel in 1781 schon mehr als zwei Umläufe vollendet hat, und außerdem die Messungen nie mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden sind, dürften die Elemente sicherer sein, als dies für irgend ein anderes Binärsystem der Fall ist.

20. Die Bahn von γ Centaur ist noch ziemlich unsicher, trotzdem der Begleiter bereits nahezu einen Umlauf seit seiner Entdeckung durch J. Herschel in 1835 zurückgelegt hat.

21. Obwohl der Akolyth seit seiner Auffindung durch Mädler im Jahre 1843 schon 270° seiner Bahn durchlaufen, ist diese doch noch sehr unsicher, da Gore beinahe aus demselben Beobachtungsmaterial, wie Burnham, die Umlaufszeit auf 119 Jahre, also gerade doppelt so lang berechnet. Der Stern konnte übrigens 1881 nicht getrennt werden.

22. α Centaur, von J. Herschel für den schönsten aller Doppelsterne erklärt, und zugleich, soweit uns bekannt, der uns nächste Fixstern, wurde wohl schon 1709 von P. Feuillée in Chili als doppelt erkannt, allein die genaueren Positionsmessungen beginnen erst 1822, sodaß der Begleiter binnen kurzem einen vollen Umlauf vollendet haben wird. Eine mit der hier gegebenen fast gleichlautende Bahn hat See berechnet. Aus der einen oder anderen dieser erhält man unter Annahme einer Parallaxe von 0·75″ (§ 176) für die Masse des Systemes 2·00 Sonnenmassen und für die Größe der Halbachse 23·6 Sonnenweiten, oder eine Entfernung, die nahezu so groß ist, wie das Mittel der Entfernungen von Uranus und Neptun.

23. Das Binärsystem, welches nach altem Herkommen als 70 p Ophiuchus bezeichnet wird, richtiger aber bloß 70 Ophiuchus heißt, da der Buchstabe p irrtümlich eingeführt ward, machte den Rechnern viel zu schaffen, da in einzelnen Beobachtungsreihen sehr bedeutende konstante Fehler vorzukommen scheinen, und überdies eine dritte, nicht wahrnehmbare Komponente die Bewegungen stören dürfte. Das Gestirn wurde schon 1779 von Herschel als doppelt erkannt, aber erst seit 1819 regelmäßig beobachtet. Als Parallaxe fand Krüger: 0·16″, Schur: 0·29″; nimmt man daher dafür im Mittel rund 0·2″, so ist die Masse des Systemes 1·6 Sonnenmassen, die Halbachse 23·0 Sonnenweiten, also beiläufig ebenso groß wie bei α Centaur.

25. Der Doppelstern γ nördliche Krone ist ein sehr feines und schwieriges Objekt. Der Hauptstern ist 4. Größe und grünlich, der Begleiter 7. und purpurfarbig. Er wurde 1826 von W. Struve entdeckt, wo seine Distanz 0·7″ betrug. Sechs Jahre später war sie auf 0·4″ herabgesunken, sodaß ihn zwar noch der Dorpater Refraktor, sonst aber keines der damaligen Instrumente mehr doppelt zeigte. In den Jahren 1835 und 1836 konnte jedoch selbst Struve nur zuweilen mit Mühe eine längliche Gestalt des Hauptsternes erkennen; dagegen sah ihn Dawes 1843 schon wieder deutlich getrennt, jedoch auf der entgegengesetzten Seite vom Hauptstern, wie bei Struve's erster Messung in 1826; seither verschwand 1873 der Begleiter nochmals auf mehrere Jahre. Bahnlage sehr ähnlich der von Nr. 2 und 8.

26. Die Farbe der Komponenten dieses interessanten, von W. Herschel am 25. August 1782 aufgefundenen Paares wird als gelb und olivengrün angegeben. Bemerkenswert ist dieses System auch noch durch seine verhältnismäßig starke Eigenbewegung, die sich auf 0·35″ jährlich beläuft.

27. ξ Skorpion, bei Flamsteed 51 Wage, früher häufig, aber unrichtig ξ Wage genannt, ist dreifach. Die 3. Komponente 8. Größe befindet sich in einem Abstande von 7″, und es scheint bei ihr merkwürdiger Weise der Positionswinkel abzunehmen, während der engere Begleiter mit zunehmenden Positionswinkeln, also mit entgegengesetzter Bewegung seit W. Herschel's ersten Messungen eben einen Umlauf vollendet hat. In einer Entfernung von nur 5′ im Südost befindet sich noch ein Doppelsternpaar, dessen Glieder von der Größe 7·4 und 8·1 um 10″ von einander abstehen. Vielleicht gehört auch dieses noch dem Systeme an.

28. ω Löwe hat seit seiner Entdeckung durch W. Herschel am 8. Februar 1782 fast einen Umlauf vollendet. Dieser Doppelstern ist ein vorzügliches Prüfungsobjekt für Fernrohre von mäßigen Dimensionen (§ 192).

30. Bei 25 Jagdhunde ist der Hauptstern weiß, der Begleiter blau, und die Distanz jetzt und in den nächsten Jahren so gering, daß nur die kräftigsten optischen Hilfsmittel beide Gestirne getrennt zeigen.

32. Der herrliche Doppelstern γ Jungfrau hat die Astronomen vielfach beschäftigt. Zahlreiche Beobachtungen und mehrfache, darauf gegründete Bahnbestimmungen haben uns die Bewegung desselben schon mit ziemlicher Schärfe kennen gelehrt. Merkwürdig ist bei dieser Bahn die große Excentricität, welche zur Zeit des Periastrums eine so bedeutende Annäherung des Begleiters an den Hauptstern bedingt, daß beide kaum zu trennen sind. Die ersten Positionswinkel kann man aus Schätzungen von Pound und Bradley für das Jahr 1718 ableiten und für 1756 aus Beobachtungen von Differenzen der Rektascension und Deklination, die von T. Mayer herrühren. Im Jahre 1780 begannen W. Herschel's Mikrometermessungen, denen sich in den letzten Jahrzehnten ein reicher Schatz von Beobachtungen anreihte. Um die Zeit des Periastrums sah

nur W. Struve mit dem Dorpater Refraktor von 24 cm Öffnung die beiden Sterne von einander getrennt, was J. Herschel am Kap der guten Hoffnung selbst mit seinem Spiegelteleskope von 6·5 m Brennweite nicht gelang.

33. Wohl von keinem anderen Doppelsterne liegen so viele Bahnbestimmungen vor, wie von η Kassiopeja; seine Umlaufszeit beträgt nach Doberck 222, nach Gruber 195, nach Dunér 176, nach L. Struve 149, nach Coit 167 und nach der neuesten Bahn von Lewis 208 Jahre. Sie ist daher noch immer um mehrere Jahrzehnte unsicher, was uns indes nicht Wunder nehmen darf, da der Begleiter erst einen Bogen von 140° in seiner Bahn zurückgelegt hat. Auch die Parallaxe dieses Sternes ist bereits wiederholt bestimmt worden. Für dieselbe fand O. Struve 0·15″, Sokoloff aus Messungen von Schweizer 0·27″ und Davis aus Messungen an photographischen Platten von Rutherford 0·44″. Setzt man daher die Parallaxe rund zu 0·3″ an, so erhält man mit der Bahn von Lewis für die Masse des Systemes 0·52 der Sonnenmasse und für die Halbachse 28·2 Sonnenweiten, was beiläufig der Entfernung Neptuns gleichkommt. Dieses System ist noch durch die auffallende Färbung der Komponenten: Hauptstern gelb, Begleiter purpurfarbig und durch seine starke Eigenbewegung von jährlich 1·19″ ausgezeichnet.

34. Den Doppelstern τ Ophiuchus erklärte W. Herschel bei dessen Entdeckung im Jahre 1783 für den engsten der von ihm gemessenen. W. Struve bemerkte im Jahre 1825 keine Spur der Duplicität, die er erst im Jahre 1827 ahnen konnte. Seitdem vergrößerte sich die Distanz so sehr, daß dieser Doppelstern nun verhältnismäßig leicht als solcher zu erkennen ist.

35. μ^2 Bootis hängt physisch mit dem 2′ südlich stehenden Sterne 4. Größe μ^1 zusammen. Seit der Entdeckung der Duplicität des Sternes am 10. September 1781 durch W. Herschel hat der Akolyth bereits mehr als 270° in seiner Bahn zurückgelegt.

Einige in anderer Beziehung merkwürdige Doppelsterne, von denen keine sicheren Bahnberechnungen oder überhaupt gar keine vorliegen, sind noch:

γ Andromeda, 1778 von Chr. Mayer erkannt. Der hellere Stern ist rot, der kleinere grün: durch ein lichtstarkes Fernrohr gesehen, bieten sie daher vermöge des auffallenden Farbenkontrastes ein überraschend schönes Bild. W. Struve fand 1842 zu Pulkowa, daß der kleinere der beiden Sterne selbst wieder ein Doppelstern ist, von dem aber nur die hellere Komponente die grüne Farbe, die schwächere hingegen eine blaue besitzt. Doch ist die Distanz (kaum 0·5″) so gering und infolgedessen die Trennung so schwierig, daß er unter die feinsten Objekte dieser Art am Himmel zu zählen ist. Der enge Doppelstern steht vom Hauptsterne 10″ ab: die Größen der drei Sterne sind 3·5, 5·5 und 8; die Trennung des Begleiters gelingt daher am leichtesten während der Dämmerung.

Ein sehr interessanter dreifacher Stern ist 40 0^2 Eridanus. Östlich von

dem diese Bezeichnung tragenden orangefarbenen Sterne 4. Größe steht in einer Entfernung von 1′ 20″ ein Doppelstern, dessen Komponenten 9. und 10. Größe um rund 4″ von einander abstehen. Dieser Doppelstern teilt die riesige Eigenbewegung von 4·09″ (§ 183) mit dem erstgenannten Sterne, ist daher mit diesem zweifellos physisch verbunden, obwohl noch keine Bahnbewegung um denselben erkannt worden, was aber bei der großen Distanz leicht begreiflich ist. Von dem Doppelsterne hat aber der kleinere Begleiter, seit ihn W. Herschel 1783 entdeckte, einen Bogen von etwa 200° durchlaufen, an den Burnham eine Ellipse von 180 Jahren Umlaufszeit bei einer Halbachse von 6·25″ angeschlossen hat. Dieselbe ist indes noch sehr unsicher, weil nach W. Herschel's erster Beobachtung bis zum Jahre 1851, von welchem an das Paar eifrig verfolgt wurde, bloß eine rohe Schätzung des Positionswinkels aus 1825 von W. Struve vorliegt. Die Parallaxe dieses Sternsystemes ist nach Gill 0·17″, nach Hall 0·22″, im Mittel also 0·19″. Darnach würde die Halbachse der Bahn 32·9 Sonnenweiten und die Masse des Doppelsternsystemes 1·1 Sonnenmassen betragen; die Dauer eines Umlaufes um den Hauptstern geht jedenfalls in die Jahrtausende.

Für Kastor oder α Zwillinge, den westlicheren der beiden schönsten Sterne dieser Konstellation, kann man ähnlich wie bei γ Jungfrau aus Vergleichungen der Richtung der Verbindungslinie beider Sterne mit der von bekannten Sternpaaren, ausgeführt von Pound und Bradley, bereits einen Positionswinkel für 1720 herleiten, und einen aus Beobachtungen von Bradley für 1760. Hierauf folgen die Messungen von W. Herschel von 1779 bis 1803, an welche sich 1814 die von W. Struve und 1816 die von J. Herschel anschließen. In den letzten Jahren endlich haben verschiedene Astronomen diesen Doppelstern sehr fleißig gemessen, so daß wir von dem höchst merkwürdigen Objekte eine schöne, beinahe anderthalb Jahrhunderte umfassende Reihe von Beobachtungen besitzen. Trotzdem sind wir über die Bahn desselben noch sehr im Ungewissen, wie wohl der Umstand deutlich zeigt, daß die Umlaufszeit nach Mädler 519, nach Hind und Jacob 640, nach Thiele, Wilson und Doberck sehr nahe 1000 Jahre beträgt, während sie die neueste Bahnbestimmung von Mann auf 266 Jahre herabsetzt. Über die Dauer der Umlaufszeit werden übrigens die nächsten Jahrzehnte entscheiden, eine genaue Bahn wird sich aber wohl kaum vor dem Anfange des 20. Jahrhunderts bestimmen lassen. Durch Kastors starke Änderungen im Positionswinkel wurde W. Herschel zuerst auf richtige Ansichten über Doppelsterne geführt, wie auch dieses Gestirn und γ Jungfrau die ersten waren, auf die J. Herschel seine Methode der Bahnbestimmung anwendete. In einer Entfernung von 1′ 13″ befindet sich noch ein Stern 9·10. Größe, der die Eigenbewegung von Kastor teilt, und deshalb mit ihm zu einem dreiteiligen Systeme physisch verbunden ist.

Interessant wegen stark ausgeprägter Farben ist ξ Bootes. Der Hauptstern 4·5. Größe ist orange, der Begleiter 5. Größe purpurrot. Doberck hat aus

einem Bogen von 130° eine Bahnrechnung unternommen, welche bei einer Halbachse von 4·86″ auf 127 Jahre Umlaufszeit führte.

Der schöne Doppelstern α im Herkules wurde 1777 von Chr. Mayer und Maskelyne und 2 Jahre später von W. Herschel entdeckt. Der Centralstern ist 3. Größe und tiefgelb, der Begleiter 6. Größe und blau oder blaugrün. α Herkules ist veränderlich, im Maximum 3., im Minimum 4. Größe. Die Zeit einer ganzen Periode zwischen zwei größten Werten der Helligkeit beträgt etwa drei Monate. W. Struve glaubt, daß der kleinere Stern der veränderliche sei; wenigstens hat er diesen bald 5., bald 7. Größe notiert.

Der Doppelstern 19 Hevel der Giraffe (AR $= 5^h\ 6{\cdot}1^m$, Dekl. $= +79°\ 7'$) 4·5. und 8. Größe, zeigte 1825 nach W. Struve die Distanz 37″, welche jedoch beständig abnimmt und 1877 nur noch 20″ betrug, während der Positionswinkel von 346° i. J. 1825 sich nach und nach um 16° vergrößerte. Besonders interessant aber wird dieses Sternpaar dadurch, daß die Eigenbewegung beider Sterne gleich ist (0·17″ jährlich im größten Kreise), jedoch nahe in entgegengesetzter Richtung stattfindet. Da somit die Änderung der gegenseitigen Distanz ebenso gut von relativer Bewegung des einen Sternes um den anderen als von absoluter Bewegung beider Sterne im Raume herrühren kann, bleibt es zweifelhaft und nur durch fernere Messungen zu entscheiden, ob eine physische Verbindung vorhanden sei. Ist dies nicht der Fall, so wäre um das Jahr 1932 ein Minimum des wechselseitigen Abstandes von etwa 9″ zu erwarten. Bei physischer Zusammengehörigkeit würde sich wahrscheinlich eine erheblich kleinere Distanz bedeutend früher zeigen.

Der Doppelstern 61 Schwan, nach Flamsteed's Verzeichnis so genannt, (Rektasc. $= 21^h\ 2{\cdot}4^m$, Dekl. $= +38°\ 15'$) 5·6. und 6. Größe, ist ein für die Wissenschaft in mehrfacher Beziehung höchst wichtiges Objekt. Bekanntlich gelang an ihm die erste Bestimmung der Parallaxe, also der Entfernung eines Fixsternes (§ 176), wozu dessen auffallend starke Eigenbewegung (§ 183) veranlaßte. Die Distanz der beiden Komponenten beträgt jetzt etwa 21″, und obwohl zwischen 1753 (Bradley) und 1875 der Positionswinkel von 35° in 127° übergegangen war und die Distanz sich um 5″ vergrößert hatte, zeigte sich doch der vom Begleiter in diesem Zeitraume beschriebene Weg nicht merkbar von einer graden Linie verschieden. Erst in den letzten Dezennien ist die Krümmung der Bahnkurve ein wenig hervorgetreten, so daß C. F. W. Peters unter der Annahme, daß das Apastron innerhalb der Zeit der vorliegenden Beobachtungen falle, für die Bahn eine Ellipse von geringer Excentricität mit einer Halbachse von 29·5″ und einer Umlaufszeit von 782·6 Jahren berechnen konnte. Die Parallaxe dieses Sternes kann im Mittel der verschiedenen dafür erhaltenen Werte zu 0·50″ (§ 176) angesetzt werden. Damit hätte unter der Voraussetzung der obigen Bahn die Halbachse eine Ausdehnung von 59·0 Sonnenweiten, d. h. etwa die doppelte Neptuns, und das System eine Masse, welche 0·34, d. h. $^1/_3$ der Sonnenmasse

gleich kommt. Dies verglichen mit den oben (§ 177) ermittelten Sterngrößen, in denen die Sonne in verschiedenen Entfernungen erscheinen würde, weist darauf hin, daß 61 Schwan ihr an Leuchtkraft ganz erheblich nachsteht. Im Jahre 1893 machte Wilsing bei der Ausmessung photographischer Aufnahmen dieses Sternenpaares die interessante Entdeckung, daß die Distanz beider Sterne innerhalb eines Zeitraumes von 1·8 Jahren periodische Schwankungen mit einer Amplitude von beiläufig 1·5″ zeige, die sich nur dadurch erklären lassen, daß die eine der Komponenten einen Begleiter besitzt, mit dem sie in der obigen Zeit einen Umlauf um ihren gemeinsamen Schwerpunkt beschreibt. Kurz nachher hat Harold Jakoby auf Platten, die Pritchard 1886 und 1887 behufs Parallaxenbestimmung aufgenommen hatte, die Entdeckung Wilsing's bestätigt gefunden.

§ 192. (Doppelsterne als Prüfungsmittel der Fernrohre.) Wenn man mit mehreren Fernrohren denselben irdischen Gegenstand, z. B. eine Turmspitze, beobachtet, so steht man oft an, zu sagen, mit welchem von diesen Fernrohren man besser sieht. Sicherer ist es schon, zu diesem Zwecke ein gedrucktes Blatt in einiger Entfernung vor den Fernrohren aufzustellen und für jedes Fernrohr das Blatt so lange zu entfernen, bis man dasselbe nicht mehr deutlich lesen kann, von anderen hierzu erdachten irdischen Proben nicht zu sprechen. Die Astronomen aber, die schon gewöhnt sind, die Gegenstände des Himmels auch zu diesem Zwecke anzuwenden, pflegen die Güte ihrer Fernrohre dadurch anzugeben, daß sie sagen, dasselbe zeige die Phasen der Venus, die Streifen Jupiters, den Schatten des Saturnringes und dergl. mehr oder minder deutlich. Allein man sieht, wie viel dabei noch unbestimmtes zurückbleibt, und daß solche Aussagen keine Basis zu einer eigentlichen Klassifikation der Fernrohre abgeben können.

Anders verhält sich dies mit den Doppelsternen. Da es sich bei der Untersuchung der Güte eines Fernrohres vorzüglich darum handelt, ob die Strahlen, die von irgend einem Punkte eines Gegenstandes außer ihm kommen, durch das Objektiv wieder in einen einzigen Punkt vereinigt werden, oder mit anderen Worten, ob die Bilder, welche die Fernrohre von den Gegenständen machen, ganz rein und vollkommen deutlich sind, worin eben der Hauptvorzug eines jeden guten Fernrohres besteht, so werden die Doppelsterne ein ganz vorzügliches Mittel sein, das Dasein oder den Mangel dieses Vorzuges zu beweisen. Wenn nämlich die beiden Komponenten eines Doppelsternes sehr hell sind und z. B. beide wenigstens zu der 1. bis 5. Größe gehören, und wenn sie überdies sehr nahe beieinander stehen wie Kastor, ξ großer Bär, γ Löwe, λ Kassiopeja, δ Füllen, so wird eine sehr große Reinheit des Bildes nötig sein, um diese zwei hellen Punkte auf ihrem dunklen Grunde scharf abgesondert und in ihren nächsten Grenzen nicht verwaschen oder ineinanderlaufend zu sehen; wenn im Gegenteil nur der eine Stern sehr hell, der andere aber sehr klein ist, wie bei Rigel, β Hase, Sirius, so wird eine große raumdurchdringende Kraft des Fernrohres, wie dies W. Herschel zu nennen pflegte, erforderlich sein, um so feine und lichtschwache Punkte, selbst wenn sie

einzeln am Himmel ständen, überhaupt noch sehen zu können, um so mehr also, wenn derlei feine Sterne neben sehr hellen stehen, wo ihr ohnedies geringes Licht durch diese noch vermindert wird. Denn beim Durchgange durch die Hornhaut des Auges verhalten sich die Strahlen des helleren Sternes wie beim Eintritte in einen zwar durchsichtigen, aber an der Oberfläche nur flüchtig und ohne besondere Sorgfalt polierten Körper. Ein Teil dieser Strahlen wird daher regelmäßig gebrochen und wirft auf die Netzhaut das Bild des helleren Sternes; ein bedeutender Teil derselben wird aber zerstreut und beleuchtet dadurch die ganze Netzhaut. Dies ist die Ursache, warum wir den schwächeren Stern auf einem hellen Hintergrunde und also sein Bild gewissermaßen durch die Nähe des größeren Sternes verdunkelt erblicken.

Man sieht, daß durch die Doppelsterne sowohl die Kraft als auch die Richtigkeit der Konstruktion des Fernrohres sehr vorteilhaft und sicher untersucht werden, und daß man dadurch gleichsam ein bestimmtes Maß erhält, nach welchem man diese Instrumente unter sich vergleichen kann.

Zu diesem Zwecke folgen hier einige dieser Doppelsterne, die sowohl für schwächere als auch für stärkere Fernrohre als Prüfungsmittel gebraucht werden können.

I. Sehr leicht und schon durch gewöhnliche Fernrohre von etwa 80 cm Fokallänge und 5 cm Öffnung lassen sich die folgenden Doppelsterne erkennen:

ζ Großer Bär (Mizar), Distanz $\Delta = 14''$, Größe 3., 5. (§ 186).

γ Andromeda, $\Delta = 11''$, Größe 3., 5.

ϑ Schlange, $\Delta = 22''$, Größe 4., 4.

$\varkappa$ Herkules, $\Delta = 30''$, Größe 5., 6.

ζ Leier, $\Delta = 44''$, Größe 4., 5.

II. Schon stärkere Fernrohre, von etwas mehr als 1 m Brennweite und 8 cm bis 10 cm Öffnung, erfordern:

Kastor, $\Delta = 6''$, Größe 3., 3.

π Bootes, $\Delta = 6''$, Größe 5., 6.

ζ Krone, $\Delta = 6''$, Größe 4., 6.

ζ Krebs, $\Delta = 5''$, Größe 5., 6. (Der entferntere Begleiter zu verstehen; § 191.)

ι Fische, $\Delta = 4''$, Größe 7., 7.

α Kleiner Bär, der Polarstern, $\Delta = 19''$, Größe 2., 9., ist bloß deshalb schwerer zu sehen, weil der Satellit so klein ist.

III. Fernrohre von wenigstens 2 m Brennweite und 12 cm bis 16 cm Öffnung werden erfordert für:

φ Jungfrau, $\Delta = 4''$, Größe 5., 10.

ϱ Herkules, $\Delta = 4''$, Größe 4., 6.

ε Bootes, $\Delta = 3''$, Größe 3., 6.

β Orion (Rigel), $\Delta = 9''$, Größe 1., 10.

ζ Bootes, $\Delta = 1''$, Größe 4., 5.

ε Widder, $\Delta = 1''$, Größe 5., 6.

IV. Als vorzüglich feine und nur durch ausgezeichnete Fernrohre erkennbare Doppelsterne können noch die folgenden gelten:

Die beiden kleinen Sterne im Trapez von ϑ Orion (§ 187).
ζ Herkules.
φ Großer Bär.
ω Löwe.
γ Andromeda, der Begleiter, der selbst doppelt ist (§ 191).

V. An scharfen Prüfungsmitteln für die größten Fernrohre der Neuzeit fehlt es eigentlich noch. Doch können als solche viele der engen, meist von Burnham entdeckten, oft sehr schwachen Begleiter heller Sterne dienen, wie β Hase (Hauptstern 5. Größe, Begleiter 11. in einer Entfernung von 3″); β Skorpion (jetzt eigentlich ein dreifacher Stern, seitdem 1879 beim Hauptstern 2. Größe in einer Entfernung von nur 0·7″ ein Akolyth 10. Größe aufgefunden wurde); η Fische (Hauptstern 4. Größe, Begleiter 11. Größe in 1″ Entfernung); 85 Pegasus (AR = 23^h $57{\cdot}0^m$ D = $+26^0$ 33′); der 0·7″ vom Akolythen 6. Größe abstehende Begleiter 9. Größe, den Burnham 1878 auffand (§ 191) u. a. Von 1897 an wird auch Sirius mehrere Jahrzehnte hindurch ein vorzügliches Prüfungsobjekt abgeben. Ferner geben auch jene Doppelsterne für die trennende Kraft eines Fernrohres vorzügliche Prüfungsmittel ab, deren Bahn fast senkrecht auf unserer Gesichtslinie steht, wie die oben (§§ 190, 191) besprochenen Sterne γ nördliche Krone, 42 α Haupthaar, δ Füllen u. a., wo sich die Begleiter dem Hauptsterne ungemein nähern können. Solche Sterne werden nämlich zeitweise in einem minder guten oder kräftigen Fernrohre bereits einfach erscheinen, während ein besseres oder stärkeres sie noch zu trennen vermag. Übrigens muß auch hervorgehoben werden, daß gerade bei den schwierigsten Objekten ein scharfes, für schwache Lichteindrücke empfindliches Auge eine besondere Übung in derartigen Beobachtungen u. s. w., kurz die Individualität des Beobachters keine geringe Rolle spielt, wie wir dies schon einmal an einem anderen Orte (§ 120) zu bemerken Gelegenheit hatten.

§ 193. (Bahnen der Planeten der Doppelsterne; Anblick des Himmels auf ihnen.) Wir besitzen zwar, streng genommen, noch keinen vollgiltigen Beweis dafür, daß die Bahnbewegungen der Doppelsterne von dem Newton'schen Gravitationsgesetze geregelt werden. Aber abgesehen davon, daß kein plausibler Grund dagegen spricht, haben auch die unter dieser Voraussetzung berechneten Bahnen noch nie zu einem Widerspruche geführt, also noch nie Veranlassung geboten, die Richtigkeit der Voraussetzung zu bezweifeln. Man ist daher wohl berechtigt anzunehmen, daß dasselbe Gesetz, welches alle Bewegungen unseres Planetensystemes beherrscht, auch jenseits der Grenze desselben gilt und das allgemeine Gesetz der ganzen Natur ist.

Auf dieser Annahme beruhen auch die oben mitgeteilten Angaben über die

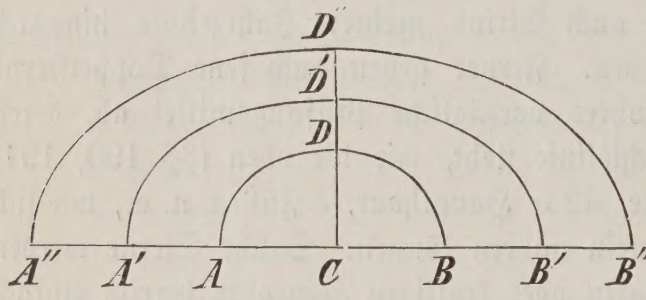
Massen einzelner Doppelsternsysteme. Nennt man nämlich π die jährliche Parallaxe der betreffenden Gestirne, a die halbe große Achse der Bahn des Akolythen in Sekunden, r dieselbe Größe in Sternweiten, t die Umlaufszeit des Begleiters in Jahren, m die Masse des Systemes in Einheiten der Sonnenmasse, so ist nach Sätzen, deren Begründung wir im I. und II. Kapitel der III. Abteilung werden kennen lernen:

$$r = \frac{a}{\pi}; \quad m = \frac{a^3}{\pi^3 t^2}$$

Da die Doppelsterne unserer Sonne ähnliche Körper sind, kann man wohl kaum bezweifeln, daß wenigstens um manche von ihnen auch Planeten und Kometen kreisen, denen sie Licht und Wärme spenden. Die Bahnen dieser werden aber von den Bahnen unserer Planeten und Kometen sehr verschieden sein.

In unserem Systeme erfolgen alle Bewegungen um einen einzelnen Centralkörper, die Sonne, und können infolgedessen nach dem Newtonschen Gravitationsgesetze nur Kegelschnitte, spezieller Ellipsen oder Hyperbeln sein. Viel verwickelter gestaltet sich indes die Sache, wenn die Planeten von zwei Sonnen angezogen werden: dann können unter verschiedenen Annahmen über das Verhältnis der Massen der beiden Centralkörper gegen einander zahllose, unter einander völlig verschiedene, oft auf das sonderbarste gestaltete krumme Linien entstehen. Euler und nach ihm Legendere haben diesbezügliche Untersuchungen für einige der einfachsten Annahmen durchgeführt, und sind dabei zu überraschenden Resultaten gelangt, von denen wir hier einzelne kurz anführen wollen.

Fig. 95.



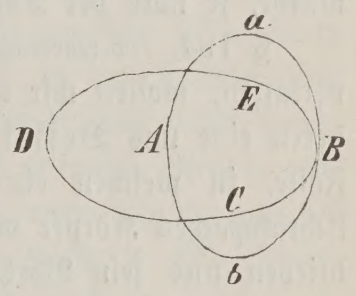
Wenn die Massen der beiden Sonnen gleich groß sind, so beschreibt der Planet eine Ellipse, in deren Brennpunkten jene zwei Sonnen liegen, aber so, daß die Geschwindigkeiten des Planeten in den beiden Endpunkten der großen Achse dieser Ellipse gleich groß, und daß auch die Zeiten durch die vier Quadranten, d. h. von dem Endpunkte der einen bis zu dem der anderen Achse der Ellipse von gleicher Größe sind.

Unter bestimmten Verhältnissen der anziehenden Kräfte der beiden Sonnen, in Verbindung mit der Wurfkraft, welche der Planet bei seiner Entstehung erhalten hat, wird er zwar wieder eine Ellipse, aber eine veränderliche Ellipse beschreiben. Wenn er z. B. von dem Punkte A (Fig. 95) der großen Achse A"B" ausgeht, so wird er den Bogen ADB beschreiben, aber dann auf der anderen Seite von A" B" einen solchen Weg nehmen, daß er am Ende seiner ersten Revolution die Linie A" B" nicht mehr in A, sondern in dem Punkte A' schneidet; von da geht er durch den Bogen A'D'B' und unter der Linie A" B" in einem

neuen Bogen auf eine solche Art weiter, daß er jetzt, am Ende der zweiten Revolution, jene Linie in dem Punkte A″ schneidet. Von dem Punkte A″ geht er nun durch den Bogen A″D″B″ und durch den ihm entsprechenden unteren Bogen, sodaß er am Ende der dritten Revolution wieder nach A′ und am Ende der vierten Revolution endlich wieder nach dem Punkt A gelangt, von welchem er ausgegangen ist. In anderen Fällen kommt er erst nach fünf, sechs oder mehr Revolutionen zu seinem Anfangspunkte, oder er durchschneidet in den aufeinander folgenden Revolutionen die Linie AA″ und BB″ allmählich in allen aufeinanderfolgenden Punkten derselben, so daß die Bahn immer zwischen den beiden Grenzellipsen ADB und A″D″B″ enthalten ist, zwischen welchen die wahre Bahn des Planeten nach und nach gleichsam anschwillt und sich dann wieder zusammenzieht.

Wieder in anderen Fällen wird eine Art von in sich selbst zurückkehrender Doppellinie beschrieben, wie man in Fig. 96 sieht. Hier geht der Planet von dem Punkte A seiner großen Achse aus durch den Halbkreis AaB der kleinen ellipsenartigen Linie; in B tritt er in die große Ellipse BCD; in D hat er die Hälfte seiner Revolution zurückgelegt und geht dann durch den Bogen DEBb wieder zu seinem Anfangspunkt A zurück.

Fig. 96.



So mannigfaltig sind also die Bahnen der Planeten der Doppelsterne, selbst wenn man nur diejenigen betrachtet, die, wie unsere Planetenbahnen, ganz in einer einzigen Ebene liegen. Man sieht ohne unsere Erinnerung, daß ohne diese Beschränkung die Anzahl und die Komplikation dieser krummen Linien noch ungleich größer sein und es der mathematischen Analysis ganz unmöglich fallen würde, alle diese äußerst zusammengesetzten Bewegungen auch nur annähernd zu bestimmen.

Wir haben bereits früher erörtert, welchen sonderbaren Anblick der Himmel von der Oberfläche des Mondes oder der Satelliten Jupiters und Saturns gewährt. Noch viel auffallender werden aber die Erscheinungen sein, welche derselbe den Bewohnern der Planeten von Doppelsternen darbietet. Die mannigfaltig verwickelten und ineinander geschlungenen Bahnen dieser Planeten werden die Bewohner derselben über ihre wahre Beschaffenheit wahrscheinlich noch viel ungewisser machen, als wir selbst über die Bahnen unserer Planeten Jahrtausende hindurch gewesen sind. Denken wir uns noch dazu die Satelliten, die Ringe dieser Planeten und ein ganzes Heer von Kometen, welche sie nach jeder Richtung umschwärmen, so wird es schwer, sich von diesem Schauspiele eine nur einigermaßen getreue Vorstellung zu machen.

Welchen Eindruck auf unser Auge, welche Veränderungen in der ganzen uns umgebenden Natur würde aber erst eine rote, eine grüne oder eine blaue Sonne erzeugen! — Wir haben bereits (§ 7) Gelegenheit gehabt, die Wirkungen der

gefärbten Sonnenstrahlen auf die Körper der Natur näher anzugeben. Wenn wir aber diese wunderbaren Farbenspiele der Natur schon unserer einzigen Sonne verdanken, — welch ein ganz anderes Schauspiel mögen in jenen Regionen zwei und mehrere Sonnen von verschiedenen Farben erzeugen! — Eine rote Sonne erhebt sich dort über den Horizont des erstaunten Beobachters, und Erde und Himmel schwimmen in ihrem Purpurlichte. In wenig Stunden schon folgt ihr eine andere, eine blaue, eine grüne Sonne, und plötzlich ändert sich mit ihrer Erscheinung auch der Anblick der ganzen Natur. Solange die rote Sonne scheint, wird unsere ganze Erde mit ihrem Rosenlichte übergossen sein; wenn sie untergegangen ist und die blaue oder grüne Sonne sich erhebt, wird wieder alles, selbst die Wüste und das Meer, mit einem azurnen oder smaragdenen Teppich überzogen; und wenn endlich beide Sonnen zugleich über dem Horizont stehen und die ganze Natur von zwei komplementären Farben beleuchtet wird, werden alle Gegenstände sofort ihr früheres buntes Kleid ablegen und in einer einförmigen aschgrauen Farbe zu trauern scheinen. Der Himmel würde nicht mehr blau, die Wiese nicht mehr grün, der Schnee nicht mehr weiß sein, sondern alles würde, je nach der Tageszeit, in allen Farben spielen.

§ 194. (Veränderlichkeit der Eigenbewegung der Fixsterne.) Ehe wir die Doppelsterne verlassen, wollen wir noch zwei Klassen derselben etwas ausführlicher besprechen, deren eine uns Bessel kurz vor seinem Tode kennen lehrte. Es sind dies jene Fälle, in welchen ein Fixstern mit einem anderen, dunklen oder wenigstens so lichtschwachen Körper verbunden ist, daß dieser letztere uns bisher unsichtbar geblieben und sein Vorhandensein daher nicht durch unmittelbare Beobachtung erwiesen, sondern nur aus den Wirkungen geschlossen werden kann, die er auf den leuchtenden Körper des Binärsystems ausübt. Da die Annahme bedeutender dunkler, unsichtbarer Massen anfänglich von verschiedenen Seiten stark in Zweifel gezogen wurde, wollen wir zuerst in Kürze den Gedankengang jener schönen Untersuchung wiederzugeben suchen, in welcher Bessel seine Ansicht begründete, und hierauf zu den Bestätigungen übergehen, welche seither für dieselbe aufgefunden wurden.

Da die Eigenbewegungen der Fixsterne (§ 183) ohne Zweifel als das Resultat der gegenseitigen Anziehung aller Körper des uns umgebenden Fixsternsystems anzusehen sind, und da durch sie die relative Lage dieser Körper selbst im Verlaufe einer langen Zeit nur sehr wenig geändert wird, so müssen diese Bewegungen, wenn sonst keine störenden Einflüsse vorhanden sind, viele Jahre, ja selbst Jahrhunderte hindurch gleichförmig erscheinen. Hieraus folgt, daß man die Eigenbewegung eines Fixsternes innerhalb einer bestimmten Zeit, z. B. innerhalb eines Jahres schon aus zwei Beobachtungen desselben zu zwei verschiedenen, möglichst weit von einander entfernten Epochen bestimmen kann, indem man die Ortsveränderung in der Zwischenzeit durch die Anzahl der verflossenen Jahre dividiert. Auf diesem sehr einfachen Wege sind denn auch alle Eigenbewegungen

der Fixsterne, wie sie in den Sternverzeichnissen vorkommen, gefunden worden. Bessel zeigte aber im Jahre 1844, daß die vorausgesetzte Unveränderlichkeit der Eigenbewegung doch nicht bei allen Fixsternen stattfindet. Er hatte nämlich die Positionen von 36 der größeren Sterne, der sogenannten Maskelyne'schen Fundamentalsterne, mit besonderer Sorgfalt untersucht und namentlich auch ihre Eigenbewegung aus Bradley's und aus seinen eigenen Beobachtungen abgeleitet. Die Resultate dieser mit bewunderungswürdiger Konsequenz und Ausdauer durchgeführten Rechnung finden sich in dem von ihm 1830 herausgegebenen Werke: Tabulae Regiomontanae etc. Später, um das Jahr 1840, wurde eine wiederholte Bestimmung der Position der Fundamentalsterne vorgenommen, und es stellte sich dabei ganz unerwartet bei Prokyon und Sirius eine auffallende, die möglichen Beobachtungsfehler bei weitem übersteigende Diskordanz gegen die früheren Beobachtungen heraus. „Die zweite Bestimmung der Deklination der Fundamentalsterne", sagt Bessel, „welche ich auf die Beobachtungen und Rechnungen des Herrn Dr. Busch gegründet habe, entfernt sich in dem Falle des Prokyon so weit von der ersten Bestimmung, daß sie bei Vergleichung mit der aus Bradley's Beobachtungen abgeleiteten Deklination für 1755 den Stern 1·6" nördlicher angiebt, als er für 1820 festgesetzt wurde. Eine ähnliche Abweichung von den früheren Bestimmungen für 1815 und 1825 ist in der Rektascension des Sirius seit etwa 1834 dadurch auffallend geworden, daß die aus dessen Beobachtungen hervorgehenden Verbesserungen der Uhrzeit, mit anfangs seltenen, jetzt (1845) ganz fehlenden Ausnahmen, wenn positiv, kleiner, wenn negativ, größer sind als die aus den Beobachtungen anderer Fundamentalsterne abgeleiteten, sodaß Sirius seit 10 Jahren in größerer Rektascension erscheint, als die auf der Vergleichung der Bestimmungen für 1755 und 1825 beruhenden Tab. Reg. ihm anweisen. Der Unterschied ist bis auf fast $^1/_3$ Zeitsekunde angewachsen. Diese Abweichungen deuten darauf hin, daß die Eigenbewegung nicht immer gleichförmig ist."

Bessel untersucht nun weiter, woher eine solche Veränderlichkeit in der Eigenbewegung kommen könne, und bleibt endlich, nachdem er alle Ursachen für eine ähnliche Erscheinung ausführlich erörtert, dabei stehen, daß sie nur von einem unbekannten dunklen Körper herrühren könne, welcher sehr nahe an demjenigen steht, der eine veränderliche Eigenbewegung besitzt und mit demselben zu einem engeren Sternsysteme verbunden ist. Ein isolierter Fixstern nämlich, auf den keine äußeren Kräfte wirken, kann wohl nur entweder ruhen oder, wie wir schon erwähnt haben, sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit und geradlinig im Raum fortbewegen. Er wird daher auch entweder gar keine Bewegung am Himmel zeigen, oder wenn er eine solche hat, sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit in einem größten Kreise bewegen, dessen Ebene durch den Ort des Beobachters und die Richtung der Bewegung des Sternes geht. Sind aber zwei oder mehrere Körper, die sich gegenseitig anziehen, durch eine größere Nähe unter sich zu einem

Systeme verbunden, so wird sich nach einem allgemeinen Prinzip der Mechanik der Schwerpunkt des Systems noch immer gleichförmig und geradlinig fortbewegen wie ein isolierter Körper, aber die einzelnen Körper des Systems werden eine ungleichförmige Bewegung besitzen, da sie nicht nur am Fortrücken des Schwerpunktes teilnehmen, sondern zufolge ihrer gegenseitigen Anziehung zugleich in einer Bewegung um denselben begriffen sind, die desto komplizierter wird, je größer die Anzahl der Körper ist, die das System bilden. Ein Stern mit veränderlicher Eigenbewegung ist also nur ein Teil eines aus zwei oder mehreren eng unter sich verbundenen Himmelskörpern zusammengesetzten Systems; die Veränderlichkeit der Eigenbewegung rührt von den inneren Bewegungen des Systems her und ist eben deshalb in gewisse Grenzen eingeschlossen, also eine Art periodischer Erscheinung. Ist nun das System als Doppelstern bekannt, so kann die Beobachtung einer Veränderlichkeit der Bewegung eines seiner Bestandteile nicht auffallen, indem ihr Vorhandensein und ihre Periodicität bei jedem Umlaufe beider Bestandteile um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt nach den Prinzipien der Mechanik erweislich ist. Wenn sie dagegen an einem einfach erscheinenden Sterne bemerkt wird, so führt sie auf die Annahme, daß er der einzige sichtbare Teil eines Systems ist, deren Statthaftigkeit nur bestritten werden könnte, wenn Grund vorhanden wäre, die Eigenschaft des Leuchtens für eine wesentliche der Materie zu halten. Daß zahllose Sterne sichtbar sind, beweist offenbar nichts gegen das Dasein zahlloser unsichtbarer. Daß der berühmte Tychonische Stern in der Kassiopeja unsichtbar vorhanden (§ 198), ist kaum zweifelhaft.

Bessel giebt dann das Detail seiner Untersuchungen über die Veränderlichkeit der Deklination des Prokyon, welche er mittels einer besonderen Methode durchführt, bei der die relativen Abweichungen der Sternkataloge so viel als möglich eliminiert werden, und findet so „als ein unzweifelhaftes Resultat der Beobachtungen, daß die Voraussetzung der Unveränderlichkeit der Deklinationsbewegung des Prokyon unrichtig ist." Welcher Art diese Ungleichheit ist und welches Gesetz sie befolgt, darüber kann noch nichts bestimmtes gesagt werden; aber so viel läßt sich mit Sicherheit schließen, daß sie eine Periode von etwa 60 Jahren hat.

Auf ähnliche Weise behandelt Bessel die Rektascension des Sirius. Die Eigenbewegung des Sirius wurde von ihm aus Bradley's und aus seinen eigenen Beobachtungen abgeleitet, und beide Ausgangspunkte sind mit großer Sicherheit bestimmt. Um das Jahr 1835 zeigte sich schon eine bedeutende Diskordanz der berechneten Position des Sirius von der beobachteten; letztere war nämlich um $0{\cdot}19^s$ größer als erstere. Im Jahre 1843 war dieser Fehler schon auf $0{\cdot}32^s$ gestiegen. Bessel vergleicht nun wieder sämtliche in den verschiedenen Sternverzeichnissen enthaltenen Örter des Sirius und auch seine Beobachtungen mit den Tab. Reg. und kommt dadurch zu dem Schlusse, „daß auch die Voraus-

setzung der Unveränderlichkeit der Rektaszensionsbewegung des Sirius mit den neuesten Beobachtungen unvereinbar ist." Die Periode ihrer Störung scheint etwa ein halbes Jahrhundert zu sein.

Eine Berechnung der Bahn, welche Prokyon und Sirius um den supponierten dunklen Körper oder, richtiger gesagt, welche die Sterne um den Schwerpunkt ihres Systems beschreiben, hat jedoch Bessel nicht versucht, weil ihm hauptsächlich wegen der großen Lücken zwischen den Jahren 1755 und 1820 das vorhandene Material hierzu nicht hinreichend schien. Diese Ergänzung fügte wenige Jahre später C. A. F. Peters, damals in Königsberg, für den einen der beiden Sterne, nämlich Sirius, hinzu, und war daher der Erste, welcher unter der Annahme, daß Sirius mit einer zweiten, unsichtbaren, dunklen Masse ein System bilde und beide sich nach den Newton'schen Gesetzen um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt bewegen, die beobachteten Ungleichheiten in der Eigenbewegung dieses Sternes theoretisch begründete und die elliptische Bahn ermittelte, welche derselbe beschreibt.

Außer der Rektaszension hat später Safford noch die Deklination untersucht und auch in dieser Koordinate eine Veränderlichkeit der Eigenbewegung nachgewiesen, welche durch eine ähnliche Bahn, wie sie Peters aus den Rektaszensionsbeobachtungen abgeleitet hatte, erklärt werden kann. Die umfassendsten Arbeiten über diesen Gegenstand unternahm aber Auwers um 1860. Was vorerst Sirius betrifft, benützte er sämtliche Beobachtungen desselben bis auf jene Zeit herab, und zwar sowohl die in Rektaszension, etwa 7000, als auch die in Deklination, etwa 4500 an Zahl, zur Ableitung einer neuen Bahn, welche die Beobachtungen so vollständig darstellt, als man nur wünschen kann, und wie folgt lautet:

Durchgang des Sirius durchs Periastrum	1843·28
Länge des Knotens	61° 58′
Knotendistanz des Periastrums	18 55
Neigung	47 9
Excentricität	0·615
Mittlerer Abstand des Sirius vom Schwerpunkte des Systemes	2·331″
Umlaufszeit	49·4 Jahre

Bewegung: Retrograd.

Ehe jedoch diese mühevolle, umfassende Arbeit vollendet war, hatte Bessel's Annahme, Sirius sei nur ein Teil eines Binärsystems, dessen anderen wir nicht sehen, bereits eine glänzende Bestätigung erhalten durch die Auffindung eines Siriusbegleiters, die Clark in Boston am 31. Januar 1862 mit einem von ihm verfertigten vortrefflichen Refraktor von 47 cm Öffnung gelungen war. Es handelte sich jetzt nur noch darum, zu untersuchen, ob die Position dieses Begleiters, dessen Nähe an dem hellen Hauptstern die Ursache war, daß er bis dahin

sich allen Nachforschungen entzogen hatte, auch eine derartige sei, daß durch ihn die beobachteten Ungleichheiten in der Siriusbewegung erklärt werden könnten. Daß dies unter der Annahme, die Masse des Akolyten verhalte sich zu der des Hauptsternes wie 1 : 2·05, in der That der Fall sei, hat Auwers sofort nach dem Bekanntwerden der ersten Beobachtungen desselben nachgewiesen. Um aber den Grad der Annäherung mit einem Blicke übersehen zu können, mit dem die obige Bahn den Lauf des Satelliten bis zum Jahre 1890 darstellt, wo er selbst für die Riesenrefraktoren der Neuzeit auf mehrere Jahre in den Strahlen des Hauptsternes verschwand, lassen wir hier in Intervallen von 2 zu 2 Jahren die Fehler folgen, die nach einer Zusammenstellung von Auwers eine nach den obigen Elementen berechnete Ephemeride mit den aus den Beobachtungen gebildeten Normalorten zeigte.

Jahr	Fehler in Distanz	Fehler in Positionsw.	Jahr	Fehler in Distanz	Fehler in Positionsw.
1862·2	+0·08″	−0·40°	1878·1	+0·76″	− 6·30°
1864·2	−0·37	−2·64	1880·1	+0·84	− 6·19
1866·2	−0·25	−3·64	1882·1	+1.18	− 6·52
1868·2	−0·26	−4·50	1884·2	+1·53	− 5·72
1870·2	+0·07	−4·92	1886·1	+1·59	− 3·31
1872·2	+0·54	−5·80	1888·2	+1·69	+ 7·10
1874·2	+0·60	−6·03	1890·3	+1·72	+23·34
1876·2	+0·69	−6·66			

Das Anwachsen der Fehler in Auwers' Bahn, verbunden mit der großen Lichtschwäche des Begleiters, vermöge welcher ein so geringer Massenunterschied zwischen ihm und dem Hauptstern unwahrscheinlich erschien, ließ in der letzten Zeit der Sichtbarkeit des Akolyten wiederholt Zweifel daran auftauchen, ob er denn auch wirklich der die Bewegung des Sirius störende Körper sei, besonders als Bahnberechnungen, welche ohne irgend eine Voraussetzung von mehreren Seiten ausgeführt wurden, auf eine längere Umlaufszeit hindeuteten. So genügte nach W. E. Plummer noch 1881 eine Bahn von 442 Jahren Umlaufszeit den Beobachtungen besser als die wahre, obwohl zu jener Zeit der Begleiter allerdings erst eine Winkelbewegung von 35°, aber doch nahezu die Hälfte seiner Umlaufszeit zurückgelegt hatte. Es ist dies ein interessanter Fingerzeig für die Unsicherheit der Doppelsternbahnen, die aus kurzen Bögen berechnet sind. Um allen diesen Zweifeln ein Ende zu machen, nahm Auwers im Jahre 1892 seine Untersuchungen wieder auf, welche ihn zu der im § 190 angegebenen Bahn führten, die nicht nur sämtliche Beobachtungen des Satelliten, sondern auch die in den Meridianbeobachtungen seit Bradley's Zeiten erkannten Unregelmäßigkeiten in der Bewegung des Sirius vollständig darstellt. Nach diesen letzten Elementen ist die Masse des Hauptsternes $2^1/_8$mal so groß als die des Begleiters.

Die Leuchtkraft des Akolyten ist eine viel geringere als die des Sirius.

Derselbe kann höchstens 9. Größe geschätzt werden; nimmt man nun wie früher (§ 173) an, daß Sirius einen Normalstern erster Größe 9·12mal an Helligkeit übertreffe, und daß jede folgende Größenklasse nur 0·4 der Licht-Intensität der früheren besitze, so ist die Helligkeit des Begleiters 13 900mal geringer als die des Sirius, während seine Masse nahezu die Hälfte der Masse des Hauptsternes erreicht. Nach den Bestimmungen von Gill und Elkin beträgt die Parallaxe des Sirius 0·38″ (§ 176); die Halbachse 7·57″ der Bahn beläuft sich damit auf 19·9 Sonnenweiten, was ungefähr der Halbachse der Uranusbahn gleichkommt, und die Gesamtmasse des Systems auf 3·24 Sonnenmassen. Davon entfallen 2·20 Sonnenmassen auf Sirius, und 1·04 auf seinen Begleiter.

Als Kuriosum sei noch erwähnt, daß die Vermutung, die Dunér 1876 aussprach, man werde mit den großen Refraktoren der Jetztzeit höchst wahrscheinlich den Siriusbegleiter noch vor Sonnenuntergang sehen können, thatsächlich eingetreten ist, indem man ihn in Washington wirklich mehrmals kurz vor Sonnenuntergang wahrnahm.

Bei dem zweiten Sterne, Prokyon, dessen Eigenbewegung in Deklination Bessel als veränderlich erkannt, fand im Jahre 1851 Mädler, daß auch in den beobachteten Rektascensionen eine solche Veränderlichkeit sich ausspreche und eine Bahn des vermeintlichen Begleiters von etwa 50 Jahren Umlaufszeit den Beobachtungen ziemlich genügen würde. Eine genauere Bahnbestimmung nahm aber erst 1862 wieder Auwers vor und leitete später (1873) aus sämtlichen dazu tauglichen, über einen Zeitraum von 118 Jahren sich verteilenden Beobachtungen nachstehende kreisförmige Bahn ab:

Epoche des Minimums in AR	1795·629
Umlaufszeit	39·866 Jahre.
Jährliche Bewegung	9·02993°
Radius der Bahn	0·9805″

L. Struve fügte 1883 aus einer eingehenden Diskussion der Deklinationsbeobachtungen seines Vaters O. Struve noch als Neigung der Bahnebene des Nebensternes $45\frac{1}{2}^{0}$ hinzu; doch ist die thatsächliche Bestätigung dieser Bahn durch die Entdeckung des Akolyten bisher noch nicht erfolgt. Die Astronomen in Washington haben wohl mehrmals kleine Sternchen in der Nähe des Prokyon (in Positionswinkeln von 10°, 36° und 50° und in Distanzen von resp. 6″, 9″ und 10″) mit Bestimmtheit wahrzunehmen geglaubt; indes abgesehen davon, daß diese Sternchen seither nicht wieder gesehen wurden, können sie vermöge ihrer Lage die Veränderlichkeit der Eigenbewegung Prokyons nicht erklären.

Außer an Sirius und Prokyon glaubte Schubert auch noch bei β Orion, α Hyder und besonders α Jungfrau eine Veränderlichkeit der Eigenbewegungen zu bemerken. Auwers hat indes gezeigt, daß die Ungleichförmigkeiten der Bewegung in diesen Sternen nur scheinbar gewesen sind und der Benutzung eines ungenügenden Materials zugeschrieben werden müssen. Hingegen haben wir An-

zeichen dafür, daß in den Systemen einiger Doppelsterne noch dunkle Massen vorhanden sind, welche die Bewegung der sichtbaren stören (§ 191, Nr. 18 und 23).

§ 195. (Spektroskopische Auffindung von Doppelsternen.) Wir haben oben mehrere Doppelsterne kennen gelernt, welche in manchen Teilen ihrer Bahn einander so nahe kommen, daß sie selbst in den stärksten unserer Fernrohre nicht mehr getrennt werden können. Es liegt daher nahe zu vermuten, daß es auch solche geben dürfte, deren gegenseitige Distanz stets so gering bleibt, daß sie überhaupt nie getrennt erblickt werden können. Dies ist auch in der That der Fall, wie fast gleichzeitig H. C. Vogel und E. Pickering mit Hilfe des Spektroskopes nachgewiesen haben, in einer ähnlichen Art, wie Bessel aus den Meridianbeobachtungen von Sirius und Prokyon auf dunkle Begleiter derselben schloß. Das Prinzip, auf welches sich diese schöne Entdeckung gründet, ist das folgende.

Bei einem Doppelsterne geht, wie überhaupt bei jeder Bahnbewegung, die Bewegung der beiden Komponenten A und B um den gemeinsamen Schwerpunkt des Systems vor sich. In einem gewissen Punkte der Bahn wird nun die eine Komponente, sagen wir A, sich zur Erde hin, die andere B gleichzeitig von ihr weg bewegen, und infolgedessen werden dem Doppler'schen Prinzipe gemäß (§ 183) die Spektrallinien sich bei A gegen das violette bei B gegen das rote Ende hin verschieben. Nach einem halben Umlaufe findet das Gegenteil statt; jetzt bewegt sich A von der Erde weg, B zu ihr hin; es wird daher nun das Spektrum von A gegen das rote, das von B gegen das violette Ende hin sich verschieben. In der Mitte zwischen diesen Punkten bewegen sich beide Komponenten in senkrechter Richtung zur Erde: es findet daher keine Verschiebung der Spektrallinien statt.

Geht nun die Bewegung so rasch vor sich, daß diese Verschiebungen für unsere Apparate merkbar sind, so werden die Veränderungen, die dadurch im Anblicke des Spektrums entstehen, sich je nach dem Charakter des Binärsystems verschieden gestalten. Ist nämlich die eine Komponente ein dunkler, oder mindestens so lichtschwacher Akolyt, daß dessen Spektrum zu schwach ist, um hervorzutreten, so werden die Linien einfach in regelmäßigen Perioden von der roten gegen die violette Seite wandern, und dann wieder zurückkehren. Dieser Fall tritt z. B. nach den Beobachtungen von Vogel bei Spika ein, wo die Periode dieser Bewegung 4·0134 Tage umfaßt.

Man kann übrigens noch einen Schritt weiter gehen. Die Messung der Maximalverschiebungen liefert uns die Geschwindigkeit g der Bahnbewegung, und die Zwischenzeit t zwischen ihnen die Umlaufszeit des sichtbaren Sternes um den Schwerpunkt: nimmt man ferner in Ermangelung anderer Anhaltspunkte an, daß die Bahn kreisförmig mit dem Halbmesser a sei, dessen Umfang also, unter π die Ludolphische Zahl (S. 32, Fußnote) verstanden, $2a\pi$ ist, so hat man offenbar die Gleichung:

$$2a\pi = gt.$$

Man kann daher auch ohne Kenntnis der Entfernung des Gestirnes, d. h. ohne Kenntnis von dessen Parallaxe einen genäherten Wert der Dimension der Bahn erhalten. So fand Vogel die Geschwindigkeit der Bahnbewegung in einer Sekunde $g = 91{\cdot}3$ km, $t = 4{\cdot}0134$ Tage $= 346\,757^s$ und damit $a = 5{\cdot}04$ Millionen km oder $0{\cdot}0339$ Sonnenweiten. Macht man des Weiteren noch eine Annahme über das Verhältnis der Massen der beiden Körper des Systems, so kann man auch die Masse desselben gegen die unserer Sonne berechnen. Setzt man z. B. die Masse des unsichtbaren Begleiters der von Spika gleich, so beträgt die Masse jedes einzelnen der beiden Körper 1·3 Sonnenmassen.

Ist in speziellen Fällen die Bahnlage eine solche, daß der dunkle Begleiter bei jedem Umlaufe den sichtbaren Stern zum Teil verdeckt, also uns einen Teil seines Lichtes raubt, so wird die Helligkeit desselben während der Dauer des Vorüberganges rasch abnehmen und ebenso rasch wieder auf die gewöhnliche Lichtstärke zurückkehren. Wir werden dann einen Stern vor uns haben, dessen Lichtstärke im allgemeinen sich nicht ändert, zeitweilig aber innerhalb kurzer Zeit zu einem Minimum herabsinkt, um hierauf ebenso schnell sich wieder zum Normalwerte zu erheben. Solche Sterne kennen wir unter den Veränderlichen mehrere: der typische Vertreter dieser Gattung von Veränderlichen ist Algol (§ 198 Nr. 13), und bei ihm hat Vogel auch thatsächlich spektroskopisch einen dunklen Begleiter nachgewiesen, der ihn während eines Umlaufes von 2·867 Tagen durch $9^h\ 45^m$ verdeckt, wobei die Lichtstärke des Sternes von der 2. Größe bis zur Mitte der Verfinsterung, also innerhalb $4^h\ 52{\cdot}5^m$ auf die 4. herabsinkt.

Macht man wieder die Annahme, daß die Bahn kreisförmig sei, und die weiteren, daß der Akolyt den Hauptstern central bedecke und dessen Masse die Hälfte der Masse des Hauptsternes betrage, so findet sich:

Entfernung der Mittelpunkte beider Körper 5·2 Millionen km.
Bahngeschwindigkeit des Hauptsternes 42 km.
" " Begleiters 89 km.
Masse des Hauptsternes $^4/_9$ des Begleiters $^2/_9$ der Sonnenmasse.

Aus der Kurve der Helligkeitsänderungen zu den Zeiten der Vorübergänge schließt Vogel, daß beide dieser Himmelskörper von sehr ausgedehnten Atmosphären umgeben sind, und aus der Dauer der Vorübergänge auf einen Durchmesser des Hauptsternes von 1·7 und des Begleiters von 1·3 Millionen km.

Außer an Algol ist seither durch Belopolsky noch an δ Cepheus, einem anderen veränderlichen Sterne desselben Typus nachgewiesen worden, daß auch bei ihm die Veränderlichkeit durch den Vorübergang eines dunklen Satelliten verursacht werde.

Sind aber beide Sterne so hellleuchtend, daß das sichtbare Spektrum aus der Superposition beider Spektren gebildet ist, so werden in jenen Punkten der Bahn, wo die beiden Sterne in Bezug auf die Erde in entgegengesetzter Richtung sich bewegen, die in beiden Spektren vorkommenden Linien in dem einen nach

rechts, in dem anderen nach links verschoben werden und infolgedessen zu jenen Zeiten doppelt erscheinen. Eine solche Beobachtung wurde zuerst am Spektrum von Mizar (ζ großer Bär) gemacht, wo auf Photographien desselben nach je 52 Tagen einige der Magnesiumlinien sich verdoppelten. Daraus schließt Pickering, daß Mizar, abgesehen von seinen entfernteren Begleitern (§ 186), selbst noch aus zwei Sternen bestehe, die in 104 bis 105 Tagen eine Revolution um ihren gemeinsamen Schwerpunkt vollführen, und zwar in einer stark excentrischen Bahn, weil die Dublierung stets nur eine verhältnismäßig kurze Zeit andauert. Dieselbe Erscheinung wurde auch bei β Fuhrmann bemerkt, wo die Periode indes bereits in 3·984 Tagen abläuft.

Wenn nun hier die Bahnlage wieder eine solche ist, daß die Komponenten sich bei jedem Umlaufe teilweise decken, so werden solche Sternpaare ebenfalls zu den veränderlichen Sternen gehören; es wird aber, wie leicht ersichtlich, die Veränderlichkeit in engeren Grenzen sich bewegen als bei den Sternen vom Algol-Typus. Auch hierfür ist uns schon ein Repräsentant in β Leier (§ 198 Nr. 90) bekannt. Das Spektrum dieses Sternes bietet aber außerdem noch ein besonderes Interesse dadurch dar, daß hier die Spektren zweier Sterntypen übereinander gelagert sind, indem der eine Stern der Klasse Ic_2, der andere der Klasse II (§ 178) angehört.

Die hier skizzierten Untersuchungen haben uns einen neuen, tiefen Einblick in die Mannigfaltigkeit der Welt der Doppelsterne gestattet, indem sie uns die Thatsache eröffneten, daß in ihr Umlaufszeiten von vielen Jahrhunderten bis zu wenigen Tagen herab und Abstände von kaum faßbarer Weite bis zu kaum begreiflicher Nähe sich begegnen.

§ 196. (Geschichte der Entdeckung der Doppelsterne.) Schon Hevel erkannte einige Doppelsterne, ebenso Lambert, der sie aber bloß für optisch hielt, weil seiner Ansicht nach keine Bahnbewegung an ihnen bemerkbar sei. Erst Rev. John Michell wendete die Wahrscheinlichkeitsrechnung auf solche Sterngruppierungen an und zeigte dadurch zunächst an den Plejaden, daß diese nicht bloß optisch verbunden sein können (§ 185). Ähnlich spricht sich auch J. Cassini 1738 aus, ihre Zeitgenossen beachteten aber diese wohlbegründeten Aussprüche nicht. Es befaßte sich daher erst der Mannheimer Astronom Chr. Mayer in den Jahren 1776–1778 anhaltend mit den Doppelsternen im vollen Bewußtsein, daß auf diesem Gebiete überraschende Entdeckungen bevorstehen. Seine Messungen entsprachen indessen noch nicht den hier zu verfolgenden Zwecken und fanden deshalb geringe Beachtung. Immerhin entstand größtenteils aus seinen Beobachtungen das erste Verzeichnis von 80 solchen Gestirnen im Berliner Jahrbuch für 1784. W. Herschel, den man als den eigentlichen Begründer dieses Zweiges der Sternkunde betrachten muß, hatte, als er um das Jahr 1780 sich mit diesen Gestirnen zu befassen anfing, die Ansicht, daß sie nur optisch doppelt wären, daß sie also, wenngleich vielleicht in sehr großen Entfernungen hintereinander, doch für uns nahe auf derselben Gesichtslinie stehen. Er sah bald, daß sie, wenn anders diese Meinung gegründet

ist, ein sehr gutes, schon von Galilei angedeutetes Mittel zur Bestimmung der Parallaxe des näheren Sternes geben würden, und dies war auch der Zweck, welchen er durch die Beobachtung dieser Gestirne zu erreichen suchte (§ 176). Allein, wie es Bradley auf ähnlichem Wege (I § 45) erging, so fand auch Herschel nicht, was er suchte: die Parallaxe der Fixsterne, aber er fand (1803) dafür etwas anderes, was nicht minder interessant war: die Bewegung eines Sternes um den anderen, und diese Entdeckung mit allen ihren Folgen mußte ihn wohl nicht weniger überraschen, als ihn die Erfüllung seines ersten Wunsches erfreut haben würde.

W. Herschel veröffentlichte 1782 seinen ersten Katalog von 269 Vielfachen, von denen 227 bis dahin unbekannt waren. Bis zum Jahre 1804 hatte er 846 Doppelsterne beobachtet und nach eigens dazu erdachten Methoden gemessen. Ihm folgte zunächst W. Struve, damals in Dorpat, mit seinem berühmten Werke: „Stellarum duplicium etc. mensurae", das mit späteren Ergänzungen 3133 in den Jahren 1824—1837 mit einem Refraktor von 24·5 cm Öffnung gewonnene Positionen von Doppelsternen enthält. Um das Jahr 1840 nahm er in Pulkowa mit dem dortigen Fernrohre von 38 cm Öffnung diese Untersuchungen von neuem auf und lieferte wieder höchst überraschende Bereicherungen dieses Teiles unserer astronomischen Kenntnisse. Die Anzahl der engsten Doppelsterne (unter 1" Distanz) wurde so von ihm im Vergleich mit W. Herschel's Verzeichnissen auf das 25fache gebracht. In der Zwischenzeit (1816—1828) lieferte John Herschel gemeinschaftlich mit Sir James South in Slough Messungen von 1059 Doppelsternen. Vom Jahre 1834 an arbeitete J. Herschel in Feldhausen am Kap der guten Hoffnung einen hochwichtigen Beitrag aus in Bezug auf den südlichen, bis dahin auf Doppelsterne so gut wie gar nicht untersuchten Himmel und publizierte bis zum Jahre 1841 sechs Verzeichnisse mit 3346 Vielfachen.

Nach der Publikation von W. Struve's großem Werke über Doppelsterne schien es, daß auf dem in unseren Breiten sichtbaren Himmelsgewölbe für künftige Beobachter sich in diesem Zweige der Sternkunde wenig mehr als eine Wiederbeobachtung der Struve'schen Doppelsterne werde thun lassen. Man hielt nämlich sein Durchsuchen des nördlichen Himmels für so vollständig und systematisch durchgeführt, daß die Entdeckung von Begleitern bei Sternen, die W. Struve nur als einfach gesehen hatte, äußerst selten vorkommen werde, insbesondere nachdem im Jahre 1850 der Pulkowa-Katalog von 500 Sternen erschienen war, welcher früher übersehene Doppelsterne oder später, meist durch O. Struve als solche erkannte enthielt. In der That überstieg auch in den der letztgenannten Epoche folgenden 25 Jahren die Zahl der Doppelstern-Entdeckungen durch alle Beobachter zusammengenommen kaum 50; aber es wurden viele wichtige Beobachtungsreihen an Struve'schen Sternen von englischen (Dawes, Hind, Doberck u. s. w.), italienischen (Dembowski, Secchi, Schiaparelli) und deutschen Astronomen (Schlüter, Engelmann, Auwers, Dunér u. a.) ausgeführt und dieses Unternehmen auch in Pulkowa stetig und mit großem Eifer

fortgesetzt. Ein großartiger Aufschwung im Auffinden neuer Doppelsterne ergab sich aber, als um 1872 Burnham sich mit diesem Gegenstande zu beschäftigen anfing und innerhalb 20 Jahren mehr als 1000 neue Doppelsterne oder neue Begleiter zu den schon bekannten entdeckt hat, deren Mehrzahl allerdings wegen ihrer gegenseitigen Nähe oder wegen großer Lichtschwäche des Akolyten zu den schwierigsten Objekten gehören. Was die Bahnbestimmung der Doppelsterne betrifft, haben sich namentlich Doberck, Glasenapp und Gore besondere Verdienste um diesen Zweig der Sternkunde erworben, und seit 1892 insbesondere auch See, der sich eine Revision sämtlicher bisher berechneten Doppelsternbahnen mit Zuziehung der neuesten Beobachtungen zur Aufgabe gestellt hat.

Kapitel XVII.

Veränderliche Sterne.

§ 197. (Veränderliche Sterne.) Zu den rätselhaftesten Erscheinungen der Fixsternwelt gehören die sogenannten Veränderlichen, nämlich Sterne, deren Helligkeit gewissen Abwechslungen unterworfen ist. Diese Lichtwechsel wiederholen sich bei manchen Sternen in bestimmten Perioden regelmäßig in der gleichen Weise, wobei jedoch in der Art des Lichtwechsels innerhalb einer Periode die größten Verschiedenheiten vorkommen. So nimmt bei den meisten dieser Veränderlichen die Helligkeit geschwinder zu als ab und dauert die kleinste Lichtphase länger als die größte; bei anderen treten Schwankungen in der Ab- und Zunahme des Lichtes ein, welche wie bei β Leier (§ 198 Nr. 90) sekundäre Maxima und Minima der Lichtkurve erzeugen; bei noch anderen, wie bei Algol (Nr. 13), sind die Lichtschwankungen auf wenige Stunden um die Zeit des Maximums oder Minimums der Helligkeit oder beider beschränkt, während der Stern die ganze übrige Zeit hindurch in unveränderlichem Glanze erscheint, u. s. w. In den meisten Fällen zeigen sich aber auch zwischen den einzelnen Perioden des Lichtwechsels Unregelmäßigkeiten verschiedener Art. Denn abgesehen davon, daß deren Dauer zuweilen im Laufe der Zeit Änderungen erleidet, erreichen die Sterne in vielen Fällen nicht in jeder Periode im Maximum denselben Glanz und sinken im Minimum nicht in jeder zu derselben Lichtschwäche herab, wovon eines der auffälligsten Beispiele gleich der erste Stern, dessen Veränderlichkeit erkannt wurde, o Walfisch (Nr. 10) darbietet. Macht schon dies das Erkennen der Dauer der Periode des ganzen Lichtwechsels vieler Sterne sehr schwierig, so kommt noch dazu, daß bei vielen anderen, wenigstens so weit wir dies bis jetzt beurteilen können, der Lichtwechsel ganz unregelmäßig vor sich geht, wie bei η Argo (Nr. 51). Ferner kommen auch Sterne vor, welche bloß zeitweilig eine Veränderlichkeit zeigen, welche aber dann wieder geraume Zeit hindurch ihre Helligkeit nicht ändern.

Beispiele hierfür sind α Kassiopeja (Nr. 5), Beteugeuze (Nr. 25), ε Fuhrmann (Nr. 19) und vor allen P Schwan (Nr. 105), die sog. Nova von 1600, welche im 17. Jahrhundert stark veränderlich war, seit 1677 aber die 5. Größe ohne weitere Lichtschwankungen beibehält. Da unter diesen Umständen die sog. neuen Sterne (Nova), d. h. Sterne, welche plötzlich an einer Stelle des Himmels aufleuchteten und nach einiger Zeit wieder verschwanden, sich nicht wesentlich von den unregelmäßig veränderlichen Sternen unterscheiden, reiht man sie nach Schönfeld's Vorgange jetzt stets unter dieselben ein.

Mit Ausnahme der Veränderlichen Sterne vom Algoltypus, d. h. jener Veränderlichen, deren Veränderlichkeit auf wenige Stunden um die Zeit des Minimums ihrer Helligkeit beschränkt ist und die in der Regel durch ein nicht selten auffallend weißes Licht sich auszeichnen, weisen die meisten übrigen, wenigstens in einigen Phasen ihres Lichtwechsels eine rötliche oder orange Färbung auf, die im allgemeinen desto intensiver hervortritt, je länger die Dauer der Periode ihres Lichtwechsels ist. Eine solche Färbung wurde deshalb schon seit langer Zeit als ein Anzeichen von Variabilität betrachtet und leitete bereits wiederholt mit günstigem Erfolge auf die Spur von Veränderlichen. Noch fruchtbarer aber erwies sich die Bemerkung, daß, wieder abgesehen von den wenigen Sternen des Algoltypus, die übrigen Veränderlichen meist ganz besondere Spektra, nämlich solche der Klasse I, Unterabteilung c_2, oder der Klasse III (§ 178) besitzen. Bei den nun an mehreren Orten ausgeführten spektroskopischen Durchmusterungen des Himmels verfolgt man diesen Fingerzeig, indem man die Sterne, an welchen besondere Spektra sich zeigen, sofort einer systematischen Beobachtung unterzieht. Man stößt dadurch in der That auch auf zahlreiche Veränderliche, so daß deren Zahl sich jetzt sehr rasch vermehrt und schon auf etwa 400 gestiegen ist.

Über die Verteilung der Veränderlichen am Himmel läßt sich beiläufig dasselbe sagen, wie über die Verteilung der Doppelsterne: sie sind im allgemeinen in sternleeren Gegenden seltener als in sternreichen, daher in der Nähe der Milchstraße am zahlreichsten vertreten. Bei ihnen macht sich allerdings noch eine zweite Anhäufung längs des Zuges der Ekliptik bemerklich: diese ist aber jedenfalls nur scheinbar, hervorgerufen durch das häufige Absuchen dieser Gegend mit guten Karten behufs Auffindung von Asteroiden. So haben von den berühmten Planetenjägern: Hind 22, C. H. F. Peters 19, Pogson 14, Chacornac und Hencke je 4 u. s. w. Veränderliche aufgefunden. Keinesfalls aber zufällig kann die häufig sich wiederholende Erscheinung sein, daß zwei oder drei Veränderliche sich in unmittelbarer Nähe bei einander befinden. So bilden in der südlichen Krone 3 Veränderliche (§ 198 Nr. 93, 94, 95) ein Dreieck mit Seiten von 8·6′, 9·7′ und 1·3′ Länge, dessen Fläche also bloß 3·2 Quadratminuten beträgt, oder nur den 240sten Teil der Fläche des Vollmondes einnimmt. Im Skorpion haben die 3 Sterne T, R und S (Nr. 71, 72, 73) einen gegenseitigen Abstand von 8·5′, 9·7′ und 2·9′; das von ihnen eingeschlossene Dreieck enthält daher 11·9

Quadratminuten, oder $^1/_{64}$ der Vollmondfläche! Etwa 2·4° im WNW dieser Gruppe befinden sich überdies noch 2 weitere Veränderliche in einem gegenseitigen Abstande von 37′: ein Abstand, der den Durchmesser des Mondes nur wenig übertrifft. Nahe an einander stehen auch R und S Stier (Nr. 16, 17) sowie eine Reihe anderer Veränderlicher, die in dem Verzeichnisse nicht aufgeführt sind, von denen übrigens einige in den Noten zu demselben erwähnt werden.

Noch beachtenswerter als dieser Umstand ist aber die innige Verbindung, in welcher nicht selten Veränderliche mit Nebelflecken und Sternhaufen zu stehen scheinen. So leuchtete die Nova von 1860 (Nr. 71) in einem schönen, schon von Messier entdeckten, kugelförmigen Sternhaufen (§ 202) auf, und die Nova 1885 (Nr. 6) mitten im großen Andromeda-Nebel: R Einhorn (Nr. 28) bildet die Spitze eines kometenartigen Nebelfleckes und der kaum mehr als 1° von ihm entfernte S Einhorn (Nr. 29) den Hauptstern eines großen Sternhaufens. Auch V Zwillinge (Nr. 33), sowie R Argo (Rumpf) (Rektascension $= 7^h\ 37{\cdot}0^m$, Deklination $= -31°\ 26'$) befinden sich innerhalb kleiner Sterngruppen, während in der Nähe von T Stier (Nr. 15) ein veränderlicher Nebel (§ 214) liegt. Allein damit noch nicht genug. Die Veränderlichen R und T südlicher Krone (Nr. 94, 95) stehen an der westlichen und östlichen Ecke eines schwachen Nebelfleckens, der sich ein wenig westlich von einem kleinen Sternhaufen befindet, während östlich von ihnen noch S südlicher Krone (Nr. 93) liegt. Wir haben also hier zwei Veränderliche mit einem Nebel vereinigt, während ein Beispiel des Vorkommens mehrerer solcher Gestirne mit einem Sternhaufen die schon oben erwähnte Gruppe T, R, S Skorpion darbietet. Diese schon länger bekannten vereinzelten Fälle hat im Jahre 1895 Pickering durch die wichtige Entdeckung ergänzt, daß in manchen Sternhaufen eine größere Zahl von Veränderlichen und zwar solchen mit sehr kurzer Periode vorhanden ist: auf diese hochinteressanten Verhältnisse näher einzugehen, wollen wir uns indes auf später (§ 214) versparen.

§ 198. (Näheres über einzelne Veränderliche.) In das unten folgende Verzeichniß von Veränderlichen sind alle jene aufgenommen, welche im Maximum stets, oder doch zuweilen die 6. Größe erreichen, also für ein gesundes Auge bequem sichtbar werden. Die Zahl dieser beträgt nach unseren heutigen Kenntnissen 72. Diesen sind noch eine Reihe anderer hinzugefügt, die uns wegen der Art ihrer Veränderlichkeit, wegen der Beschaffenheit ihres Spektrums, wegen gegenseitiger Nähe, oder aus irgend einem anderen Grunde ein größeres Interesse zu beanspruchen scheinen, als die Masse der übrigen. Von den zusammengetragenen 119 Sternen haben nur 16 südliche Deklinationen, welche 30° übersteigen, welche also in unseren Breiten nur schwer oder gar nicht sichtbar sind; man sieht aus diesen Zahlen wohl am besten, wie mangelhaft noch unsere Kenntnis der Variabeln jener Region des Himmels ist, und welch weites Feld in dieser Richtung noch künftigen Beobachtern offen steht.

Die zweite Kolumne unserer Tabelle giebt die Namen der Sterne, wobei

zu bemerken, daß, wenn das Gestirn nicht bereits ein bequemes Zeichen aus den allgemeinen Sternverzeichnissen führt, nach Argelander's Vorschlag dem betreffenden Sternbilde eine der letzen Majuskeln, von R beginnend und nach der Reihe der Entdeckungen fortschreitend, beigelegt wurde. In manchen Sternbildern, wie der Jungfrau, der Wage, dem Schwan, reicht man aber mit den letzten Buchstaben des Alphabetes von R angefangen zur Bezeichnung aller Veränderlichen nicht mehr aus: in solchen Fällen fügt man nach Hartwig's Vorschlag noch einen zweiten Buchstaben, wieder von R angefangen, hinzu, schreibt also RR, RS, RT u. s. w., wofür Nr. 103 ein Beispiel liefert. Bei einigen der neuen Sterne und noch bei ein und dem anderen Veränderlichen ist bloß das Sternbild angegeben, weil für dieselben noch keine feststehende Bezeichnung angenommen wurde.

In der dritten Kolumne ist, wo verläßliche Angaben vorlagen, die Farbe beigesetzt, wobei w. weiß, g. gelb, o. gelbrot oder orange, r. rot und ein * besondere Intensität der Färbung bedeutet.

In der dritten und vierten Rubrik unserer Tafel findet man die Position des Sternes für 1900, unsere im vorliegenden Werke durchaus angenommene Epoche. Die 5. Kolumne giebt die Periode des ganzen Lichtwechsels, wo dieselbe bekannt ist, in mittleren Sonnentagen und Teilen derselben. Die 6. und 7. enthalten die größte und die kleinste Helligkeit bis auf Zehnteile von Größenklassen; das Zeichen $>$ bedeutet, daß der Stern zuweilen die nach dem Zeichen bemerkte Größe überschreiten, und das Zeichen $<$, daß er unter die dabei notierte Größe herabsinken kann. Dabei wäre zu erwähnen, daß für Fernrohre, mit welchen gewöhnlich die Beobachtungen von Veränderlichen angestellt werden, also für solche bis zu 16 cm oder 20 cm Öffnung, die 13. Größe an der Grenze der Sichtbarkeit liegt. Da ferner dem obigen zufolge die Maxima und Minima nicht immer gleich sind, wurden die Grenzen der beobachteten Schwankungen angegeben.

Die vorletzte Kolumne unserer Tabelle giebt den Namen des Entdeckers, wo ein solcher bestimmt zu nennen und nicht allgemeine Sichtbarkeit oder doch Erkennen durch vereinte Bemühungen wie bei der „Bonner Durchmusterung" und bei der „Uranometria Argentina" auf den Fund leitete. In diesen Fällen steht in der Kolumne B. D., resp. U. A. Was das Jahr der Entdeckung betrifft, wurde jenes angegeben, in welchem der Entdecker seinen Fund bekannt machte, und daher bei jenen Veränderlichen, welche der „Uranometria Argentina" entnommen sind, das Jahr der Publikation derselben (1879), wenn in ihr nicht ausdrücklich ein anderes Entdeckungsjahr angegeben wird. Was endlich die Quellen anbelangt, aus denen die Tabelle zusammengestellt wurde, liegt ihr Chandler's zweiter Katalog Veränderlicher Sterne im 13. Bande von Gould's Astronomical Journal (1893) zu Grunde; die denselben folgenden Bemerkungen über einzelne dieser Sterne sind teils Schönfeld's zweitem Kataloge Veränderlicher (Bonn 1875), teils den Originalarbeiten entnommen.

Nr.	Name des Sternes	Farbe	1900 Rektasc.	1900 Dekl.	Periode in Tagen	Helligkeit Max.	Helligkeit Min.	Entdecker	Jahr der Entd.
1	T Walfisch	o.	0h16·7m	−20° 37′	Irregulär	5·1—5·3	6·4—7·0	Chandler	1881
2	T Kassiopeja . . .	r.*	0 17·8	+55 14	445·0	7·0—8·0	11·0—11·2	Krüger	1870
3	R Andromeda . .	o.*	0 18·7	+38 1	410·7	5·6—8·6	< 12·8	B. D.	1858
4	B Kassiopeja . . .	.	0 19·3	+63 35	Nova 1572	> 1	?	. . . . .	1572
5	α = . . .	o.*	0 34·8	+55 59	Irregulär	2·2	2·8	Birt	1831
6	S Andromeda . . .	o.*	0 37·3	+40 43	Nova 1885	7	?	Hartwig	1885
7	U Cepheus	w.*	0 53·4	+81 20	2·493	7·1	9·2	Ceraski	1880
8	R Bildhauerw. . .	r.*	1 22·4	−33 4	207·5	5·7	7·6—8·0	U. A.	1879
9	T Perseus	o.	2 12·2	+58 29	Irregulär	8·2	9·3	Safarik	1880
10	o Walfisch	r.	2 14·3	− 3 26	331·6	1·7—5·0	8—9·5	D. Fabricius	1596
11	R Dreieck	o.*	2 31·0	+33 50	262	5·8	11·7	Espin	1890
12	ϱ Perseus	w.	2 58·8	+38 27	Irregulär	3·4	4·2	J. F. Schmidt	1854
13	Algol	w.*	3 1·7	+40 34	2·867	2·3	3·5	Montanari	1669
14	λ Stier	w.*	3 55·1	+12 13	3·953	3·4	4·2	Baxendell	1848
15	T Stier	w.*	4 16·2	+19 18	Irregulär	9·2—11·5	12·8-<13·5	Hind	1861
16	R = ...	o.*	4 22·8	+ 9 56	325	7·4—9·0	12·8—13·5	Hind	1849
17	S = ...	g.	4 23·7	+ 9 43	375·5	9·5—10·0	< 13·5	Oudemans	1855
18	R Doradus	r*	4 35·6	−62 16	. . . . .	5·7	6·7	U. A.	1879
19	ε Fuhrmann . . .	w.	4 54·8	+43 40	Irregulär	3·0	4·5	J. F. Schmidt	1843
20	R Hase	r.*	4 55·0	−14 57	436·1	6—7	8·5 (?)	J. F. Schmidt	1855
21	R Fuhrmann . . .	r.	5 9·2	+53 28	460·6	6·5—7·8	12·5—12·7	B. D.	1862
22	S = . . .	r.	5 20·5	+34 4	Irregulär	9·4—11·0	< 14·5	Dunér	1881
23	T = . . .	.	5 25·6	+30 22	Nova 1892	4·5	. . . . .	Anderson	1892
24	T Orion	w.	5 30·9	− 5 32	Irregulär	9·7	13	Bond	1863
25	Beteugeuze	r.	5 49·8	+ 7 23	Irregulär	1	1·4	J. Herschel	1840
26	η Zwillinge	g.*	6 8·9	+22 32	231·4	3·2	3·7—4·2	J. F. Schmidt	1865
27	T Einhorn	g.	6 19·8	+ 7 8	27·004	5·8—6·4	7·4—8·2	Davis	1871
28	R = ...	w.*	6 33·7	+ 8 49	Irregulär	9·5	13	J. F. Schmidt	1861
29	S = ...	g.	6 35·5	+ 9 59	3·443	4·9	5·4	Winnecke	1867
30	ζ Zwillinge	g.	6 58·2	+20 43	10·154	3·7	4·5	J. F. Schmidt	1844
31	L_2 Argo (Rumpf).	r.*	7 10·5	−44 29	136·50	3·5	6·3	U. A.	1879
32	R großer Hund . .	w.*	7 14·9	−16 12	1·136	5·9	6·7	Sawyer	1887
33	V Zwillinge . . .	g.*	7 17·6	+13 17	277·0	8·2—9·1	12·0—14·0	Baxendell	1880
34	U Einhorn	g.*	7 26·0	− 9 34	45·20	5·9—7·3	6·6—8·0	U. A.	1879
35	U kleiner Hund . .	o.*	7 35·9	+ 8 37	410	8·5—9·0	12·3—13·5	Baxendell	1879
36	U Zwillinge . . .	w.*	7 49·2	+22 16	86·3	8·9—9·7	13·1	Hind	1855
37	V Argo (Rumpf) .	.	7 55·4	−48 58	4·5	4·4	5·2	Williams	1886
38	R Krebs	o.*	8 11·0	+12 2	352·81	6·0—8·3	< 11·7	Schwerd	1829
39	S = ...	w.	8 38·2	+19 24	9·485	8·2	9·8	Hind	1848
40	T = ...	r.*	8 51·0	+20 14	482	8·0—8·5	9·3—10·5	Hind	1850
41	S Luftpumpe . . .	w.*	9 27·9	−28 11	0·324	6·7	7·3	Paul	1888
42	N Argo (Segel) .	g.	9 28·2	−56 36	4·25	3·4	4·4	Gould	1871
43	R Argo (Kiel) . .	o.*	9 29·7	−62 21	311·5	4·3—5·7	9·3—10·0	U. A.	1879
44	R kleiner Löwe . .	r.	9 39·6	+34 58	370·5	6·1—7·8	13	Schönfeld	1863
45	R Löwe	r.	9 42·2	+11 54	312·90	5·2—6·7	9·4—10·0	Koch	1782
46	l Argo (Kiel) . . .	.	9 42·5	−62 3	35·05	3·7	5·2	U. A.	1879
47	S Argo (Kiel) . .	o.*	10 6·2	−61 4	148·7	6·0	9·0—9·2	U. A.	1877
48	U Löwe	.	10 18·7	+14 31	. . . . .	9·5	. . . . .	C. H. F. Peters	1873
49	U Hyder	r.*	10 32·6	−12 52	Irregulär	4·5	6·1—6·3	U. A.	1879
50	R großer Bär . .	g.	10 37·6	+69 18	302·1	6·0—8·2	13·2	Pogson	1853
51	η Argo (Kiel) . . .	o.*	10 41·2	−59 10	Irregulär	> 1	7·4	Burchell	1827
52	R Becher	r.*	10 55·6	−17 47	160	> 8	< 9	Winnecke	1861
53	S Löwe	w.*	11 5·7	+ 6 0	190	9·0—10·0	< 13	Chacornac	1856
54	T = ...	.	11 33·3	+ 3 56	. . . . .	10 (?)	. . . . .	C. H. F. Peters	1862

Nr.	Name des Sternes	Farbe	1900 Rektasc.	1900 Dekl.	Periode in Tagen	Helligkeit Max.	Helligkeit Min.	Entdecker	Jahr der Entd.
55	R Jungfrau . . .	w.	$12^h33{\cdot}4^m$	$+7^\circ 32'$	145·47	6·5—8·0	9·7—11·0	Harding	1809
56	R Fliege	.	12 36·0	—68 52	0·882	6·6	7·4	U. A.	1871
57	R Hyder	r.	13 24·3	—22 46	425·15	3·5—5·5	9·7	Maraldi	1704
58	S Jungfrau	g.	13 27·8	— 6 41	376·4	5·7—7·8	12·5	Hind	1852
59	Jungfrau	.	13 29·4	—12 42	. . . . .	5·5	6·5	J. F. Schmidt	1866
60	W Hyder	r.*	13 43·4	—27 52	384	6·7	8·0	Sawyer	1888
61	T Bootes	.	14 9·4	+19 32	. . . . .	9·7	. . . . .	Baxendell	1860
62	R Centaur	r.	14 9·4	—59 27	160·5	6·0—6·3	8·7—9·8	U. A.	1879
63	W Bootes	.	14 39·0	+26 57	Irregulär	5·2	6·1	J. F. Schmidt	1867
64	R Paradiesvogel .	.	14 46·5	—76 15	. . . . .	5·5	6·2	U. A.	1879
65	δ Wage	w.	14 55·6	— 8 7	2·327	5·0	6·2	J. F. Schmidt	1859
66	U = ...	o.	15 36·2	—20 51	226·2	9	<14	C. H. F. Peters	1878
67	Wage	g.	15 37·8	—10 36	120	6·5	8·8	Weiß	1878
68	R Krone	r.	15 44·5	+28 28	Irregulär	5·8	13·0	Pigott	1795
69	R Schlange	o.	15 46·1	+15 26	357·2	5·6—7·6	13	Harding	1826
70	T Krone	w	15 55·3	+26 12	Nova 1866	2·0	9·5	. . . . .	1866
71	T Skorpion	.	16 11·1	—22 44	Nova 1860	7·0	<12	Auwers	1860
72	R = ...	w.	16 11·7	—22 42	224·5	9·4—10·5	<13	Chacornac	1853
73	S = ...	w.	16 11·7	—22 39	176·7	9·1—10·5	<13	Chacornac	1854
74	U = ...	.	16 16·7	—17 41	. . . . .	9	. . . . .	Pogson	1863
75	V Schlangenträger	r.*	16 21·2	—12 12	304	7·0—7·5	9·6—10·5	Dunér	1863
76	U Herkules	r.	16 21·4	+19 7	409	6·6—7·8	11·4—12·7	Hencke	1860
77	g = ...	g.*	16 25·3	+42 6	Irregulär	4·7—5·5	5·4—6·0	Baxendell	1857
78	R kleiner Bär . .	g.	16 31·3	+72 28	Irregulär	8·6—9·0	10·5	Pickering	1881
79	S Herkules	o.*	16 47·3	+15 7	307·6	5·9—7·5	11·5—13	B. D.	1856
80	Schlangenträger	o.*	16 53·9	—12 44	. . . . .	5·5	12·5	Hind	1848
81	α Herkules	o.*	17 10·1	+14 30	Irregulär	3·1	3·9	W. Herschel	1795
82	U Schlangenträger	w.*	17 11·5	+ 1 19	0·839	6·0	6·7	U. A.	1871
83	u Herkules	o.	17 13·6	+33 12	Irregulär	4·6	5·4	J. F. Schmidt	1869
84	Schlangenträger	.	17 24·6	—21 24	Nova 1604	>1	. . . . .	. . . . .	1604
85	X Schütze	w.	17 41·3	—27 48	7·012	4	6	J. F. Schmidt	1866
86	W = ...	w.	17 58·6	—29 35	7·595	4·8	5·8	J. F. Schmidt	1866
87	Y = ...	w.*	18 15·5	—18 54	5·773	5·8	6·6	Sawyer	1866
88	T Adler	o.	18 40·9	+ 8 47	Irregulär	8·8	10·0	Winnecke	1860
89	R Sobiesk. Schild	o.	18 42·1	— 5 49	71·1	4·7—5·7	6·0—9·0	Pigott	1795
90	β Leier	w.	18 46·4	+33 15	12·908	3·4	4·5	Goodrike	1784
91	$\varkappa$ Pfau	.	18 46·6	—67 21	9·102	4·0	5·5	Thomé	1872
92	R Leier	o.	18 52·3	+43 49	46·0	4·0	4·7	Baxendell	1856
93	S südliche Krone .	.	18 54·4	—37 5	. . . . .	$<9·5$	13·0	J. F. Schmidt	1866
94	R = = .	.	18 55·1	—37 6	30·6	9·8—11·5	13·2	J. F. Schmidt	1865
95	T = = .	.	18 55·2	—37 6	. . . . .	$<9·8$	13	J. F. Schmidt	1876
96	R Adler	o.*	19 1·6	+ 8 5	351·0	5·9—7·4	10·9—11·5	B. D.	1856
97	β Schwan	r.	19 34·1	+49 59	425·7	5·9—8·0	<14	Pogson	1852
98	11 Fuchs	g.	19 43·5	+27 4	Nova 1670	3	. . . . .	Anthelme	1670
99	χ Schwan	r.*	19 46·7	+32 40	406·02	4·0—6·5	13·5	Kirch	1686
100	η Adler	g.	19 47·4	+ 0 45	7·176	3·5	4·7	Pigott	1784
101	S Pfeil	w.*	19 51·5	+16 22	8·383	5·6	6·4	Gore	1885
102	R = ...	w.	20 9·5	+16 25	70·52	8·5—8·7	9·8—10·4	Baxendell	1859
103	RS Schwan	r.*	20 9·8	+38 28	Irregulär	6·8	8·3—10	Espin	1887
104	R Delphin	o.	20 10·1	+ 8 47	285·5	7·6—9·0	11·1—12·8	Hencke	1851
105	P Schwan	g.	20 14·1	+37 43	Nova 1600	3—5	<6	Janson Bläu	1600
106	U = ...	r.*	20 16·5	+47 35	463·5	7·0—8·1	9·4—11·6	Knott	1871
107	V = ...	r.*	20 38·1	+47 47	418	6·8—9·5	13·5	Birmingham	1881
108	T Fuchs	w.*	20 47·2	+27 52	4·436	5·5	6·5	Sawyer	1885

Nr.	Name des Sternes	Farbe	1900		Periode in Tagen	Helligkeit		Entdecker	Jahr der Entd.
			Rektasc.	Dekl.		Max.	Min.		
109	Y Schwan	w.*	20h48·1m	+34°17′	2·996	7·1	7·9	Chandler	1886
110	T Cepheus	r.	21 8·2	+68 5	383·3	5·2—6·8	9·5—9·9	Ceraski	1878
111	W Schwan	o.	21 32·2	+44 56	130·8	5·0—6·3	6·1—6·7	Gore	1885
112	S Cepheus	r.*	21 36·5	+78 10	484	7·4—9·2	11·5	Hencke	1858
113	Q Schwan	g.*	21 37·8	+42 23	Nova 1876	3	13·5	J. F. Schmidt	1876
114	μ Cepheus	r.*	21 40·4	+58 19	Irregulär	4	5	Hind	1848
115	δ = ...	g.	22 25·5	+57 54	5·366	3·7	4·9	Goodrike	1784
116	β Pegasus	g.	22 58·9	+27 32	Irregulär	2·2	2·7	J. F. Schmidt	1847
117	R Wassermann . .	o.*	23 38·7	—15 50	387·16	5·8—8·5	11	Harding	1811
118	U Pegasus	.	23 52·9	+15 24	0·223	8·9	9·7	Chandler	1895
119	R Kassiopeja . . .	r.*	23 53·3	+50 50	429·0	4·8—7·0	9·7—12	Pogson	1853

Zur Ergänzung der Angaben des obigen Verzeichnisses wollen wir für einzelne Sterne noch folgendes beifügen.

1. T Walfisch. Ist zeitweise innerhalb einer Periode von 60 bis 70 Tagen ziemlich regelmäßig, zeitweise ganz unregelmäßig veränderlich.

2. T Kassiopeja. Die rote Färbung sehr auffallend.

3. R Andromeda. Im Lichtwechsel kommen beträchtliche periodische Ungleichheiten vor.

4. B Kassiopeja. Die berühmte Tychonische Nova, die, wie es scheint zuerst am Morgen des 6. November 1572 von Wolfgang Schuler zu Wittenberg und am 7. November von B. Lindauer zu Winterthur gesehen wurde. Tycho bemerkte sie am 11. November, als er eben zur Nachtzeit aus seinem chemischen Laboratorium über den Hof seines Hauses in die Sternwarte ging, als einen Stern, der allen übrigen Fixsternen in jeder Beziehung völlig gleich war: nur leuchtete und funkelte er noch viel stärker als alle Sterne erster Größe. Sein Lichtglanz übertraf nämlich den des Sirius, der Wega und des Jupiter, so daß man ihn nur mit der Venus in ihrem größten Glanze vergleichen konnte, und bei heiterer Luft auch bei Tage selbst in den Mittagsstunden sah. Abstände von anderen Sternen, die Tycho während der ganzen Zeit seiner Sichtbarkeit mit vieler Sorgfalt maß, überzeugten ihn von dessen völliger Unbeweglichkeit. Bereits im Dezember 1572 fing die Lichtstärke abzunehmen an, und der Stern wurde an Helligkeit dem Jupiter gleich; im Januar 1573 war er schon minder hell als Jupiter. Fortgesetzte Schätzungen ergaben: für Februar und März Gleichheit mit Sternen erster Größe, für April und Mai mit Sternen zweiter, für Juli und August mit Sternen dritter, für Oktober und November mit Sternen vierter Größe. Der Übergang von der fünften zur sechsten Größe fand vom Dezember 1573 bis Februar 1574 statt. Im folgenden Monat verschwand der Stern gänzlich für das bloße Auge, nachdem er 17 Monate lang geleuchtet hatte. Seitdem wurde er nicht wieder gesehen. Als er zuerst erschien, war sein Licht blendend weiß. Im Januar 1573 war dasselbe bereits beträchtlich schwächer

und gelblich geworden; wieder in einigen Monaten nahm der Stern eine rötliche Farbe an, wie Mars oder Aldebaran, und im Anfange des Jahres 1574, zwei oder drei Monate vor seinem gänzlichen Verschwinden, schimmerte er nur noch in einem grauen oder bleifarbenen, dem des Saturn ähnlichen Lichte. Goodrike ist der Meinung, daß die von Leovitius erwähnten neuen Sterne der Jahre 945 und 1264 identisch mit diesem von 1572 sind, und daß daher dieser Stern einen periodischen Lichtwechsel von 150 oder 300 Jahren habe. Allein jene zwei früheren Erscheinungen sind zu ungewiß, um auf sie mit Sicherheit eine solche Behauptung gründen zu können. (Noch vager ist die von Cardanus, Chladni und Klinkerfues vermutete Identität mit dem biblischen Sterne der Magier.)

Da jedoch, die Identität jener drei Sterne vorausgesetzt, das Wiedererscheinen desselben seit 1880 jeden Moment zu erwarten stand, hat Argelander seine Reduktion der von Tycho gemessenen Abstände dieses Sternes von anderen benachbarten im Jahre 1864 veröffentlicht und darnach als wahrscheinlichsten Ort für denselben den in der Tafel angegebenen ermittelt.

Überdies hat d'Arrest am Kopenhagener Refraktor sämtliche Sterne in einem ziemlich großen Umkreise um diesen wahrscheinlichsten Ort bis zu den kleinsten noch sichtbaren hinab mappiert, damit diese Gegend leicht überwacht werden kann, um etwaige Veränderungen, die in ihr vorgehen, schnell zu erkennen, und gerade an der Stelle, wo nach Argelander der Tychonische Stern stehen soll, nämlich nur 49″ von diesem Orte, i. J. 1863 ein Sternchen 10.—11. Größe gefunden, das bei früheren Durchmusterungen weder in Abo, noch in Bonn gesehen wurde, und an dem Hind sowie Plummer Spuren von Veränderlichkeit, die allerdings kaum eine Größenstufe erreichten, i. J. 1873 bemerkt haben wollen.

5. α Kassiopeja. Der stark rötliche Stern erreicht die angegebenen Extreme selten: die Lichtschwankungen liegen vielmehr meist in oder nahe den Grenzen der Beobachtungsfehler.

6. S Andromeda. Die Nova, welche nach den Aufzeichnungen von Max Wolf zwischen dem 16. und 25. August 1885 knapp neben dem hellen centralen Lichtknoten des großen Andromeda-Nebels aufgeleuchtet zu haben scheint. Die erste bestimmte Nachricht darüber rührt aber erst vom Freiherrn von Spiessen aus Winklern her, welcher diesen Stern in den Abendstunden des 30. August wahrnahm. Er hatte Anfangs eine rötliche Färbung, und da er die Helligkeit eines Sternes 6. bis 7. Größe erreichte, überstrahlte er die benachbarten Partien des Nebels und änderte dadurch das Aussehen desselben derart, daß viele Beobachter meinten, es sei eine wesentliche Veränderung am ganzen Nebel eingetreten. Derselbe gewann aber bald wieder sein früheres Aussehen, da die Helligkeit des Sternes rasch abnahm und er nach mannigfachen Fluktuationen in der Lichtstärke anfangs 1886 wieder gänzlich verschwand. Das Spektrum des Sternes blieb, so lange es verfolgt werden konnte, ein kontinuierliches, bei dem in den besonders stark her-

vortretenden roten und gelben Partien Vogel zuweilen einzelne helle Linien zu bemerken meinte.

7. U Cepheus. Die starken Variationen in den Größenangaben in Schwerd's Beobachtungen dieses Sternes in den Jahren 1827 und 1828, auf die Deltzen bei der Reduktion derselben aufmerksam machte, ließen schon damals wenig Zweifel an seiner Veränderlichkeit übrig; sie wurde aber sofort sicher erkannt, als Ceraski ihn systematisch zu beobachten anfing. Der Lichtwechsel geht innerhalb 10 Stunden nach dem Algol-Typus vor sich; die Zunahme seines Lichtes erfolgt rascher als die Abnahme, und der Stern verharrt im Minimum etwa durch 2 Stunden unverändert, ehe die Lichtzunahme eintritt. Nach Knott einige Nachbarsterne wahrscheinlich ebenfalls variabel.

8. R Bildhauerwerkstätte. Nach Gould einer der grellst gefärbten Sterne des Himmels.

9. Nach Safarik einige Nachbarsterne ebenfalls rötlich und der Variabilität verdächtig.

10. *o* Walfisch. Der erste als veränderlich erkannte Stern, von Hevel Mira Ceti (Wunderstern des Walfisches) genannt, zeigt von allen in ihren Phasen regelmäßig beobachteten Veränderlichen die stärksten Lichtschwankungen. Schon Holwarda und Boulliaud bestimmten in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts die Periode zu 333 Tagen, die aber oft bedeutenden Variationen unterliegt.

13. *β* Perseus oder Algol, der zweite Stern, auf dessen Lichtwechsel man aufmerksam wurde. Schon im Jahre 1667 oder 1669 bemerkten Montanari und Maraldi dessen Veränderlichkeit; aber erst Goodrike fand i. J. 1782 die Periodicität derselben, und nahe gleichzeitig mit ihm entdeckte sie auch der bekannte astronomische Landmann Palitzsch bei Dresden, derselbe, der i. J. 1759 den Halley'schen Kometen einen ganzen Monat früher als alle Astronomen Europas gesehen hat; „he was" — wie Herschel sagt — „a peasant by station and an astronomer by nature." Der Grund des späten Erkennens der Periode liegt wohl darin, daß der Stern nicht wie die meisten übrigen Veränderlichen allmählich an Helligkeit ab- und zunimmt, sondern während 2 Tagen 12 Stunden in der gleichen (2·2) Größe glänzt und nur 9 Stunden lang sich in geringerem Glanze zeigt, wobei er bis zur 4. Größe herabsinkt. Die Ab- und Zunahme der Helligkeit ist nicht ganz regelmäßig, sondern geht in der Nähe des Minimums am raschesten vor sich, daher sich auch der Zeitpunkt der geringsten Helligkeit sehr genau, etwa auf 10 bis 15 Minuten bestimmen läßt. Merkwürdig ist dabei, daß der Stern, nachdem er gegen eine Stunde an Licht zugenommen hat, etwa ebenso lange in derselben Helligkeit bleibt und dann erst wieder merklich wächst. Die Dauer der Periode ermittelte Wurm i. J. 1822 zu 2 Tagen $20^h\ 48^m\ 58{\cdot}5^s$, und damit ließen sich, wie Argelander nachwies, alle Beobachtungen bis 1832 genügend darstellen: hingegen zeigte sich schon 1840 eine kleine konstante Ab-

weichung zwischen Rechnung und Beobachtung, die 1854 bereits auf 2·5 Stunden gestiegen war, so daß an einer Veränderung der Periode des Lichtwechsels nicht mehr gezweifelt werden konnte. Nach den erschöpfenden Untersuchungen von Chandler verlängerte sich die Periode des Lichtwechsels, welche zu Goodrikes Zeiten (etwa 1783) 2 Tage $20^h\ 48^m\ 58{\cdot}5^s$ betrug, bis zum Ende des Jahrhunderts beiläufig um 2^s, verkürzte sich von da an bis 1808 um etwa 3^s, worauf sie in unregelmäßiger Weise sich vergrößerte und 1830 wieder nahezu die Länge am Schlusse des vorigen Jahrhunderts erreichte. Kurz darauf begann abermals ein rascher Rückgang derselben um beiläufig $0{\cdot}5^s$ jährlich, so daß sie bis 1843 sich um mehr als 5^s verringert hatte. Hierauf trat bis 1858 in einem langsameren unregelmäßigen Tempo noch eine weitere Verkürzung um 1^s ein: von da an hob sich die Dauer der Periode bis 1866 wieder um etwa $1{\cdot}5^s$, um dann bis 1877 neuerdings zurückzugehen, und zwar bis auf 2 Tage $20^h\ 48^m\ 51{\cdot}1^s$, bei welchem Werte sie seither nahe stationär geblieben ist. Diese Schwankungen in der Dauer des Lichtwechsels hat Chandler auf die Kombination von drei periodischen Ungleichheiten zurückgeführt, deren bedeutendste beiläufig 130, deren zweite 38 und deren dritte 17 Jahre umfaßt.

Die Variabilität von Algol wird, wie schon Goodrike vermutete, in unseren Tagen aber zunächst Pickering eingehend begründete und hierauf Vogel spektroskopisch (§ 195) nachwies, durch Verdunklungen seines Lichtes durch einen dunklen Begleiter verursacht. Chandler sucht nun die bedeutendste der oben erwähnten periodischen Ungleichheiten in der Dauer des Lichtwechsels durch die Bewegung des Doppelsternes Algol um einen dunklen Centralkörper zu erklären; dieselbe Erscheinung kann aber, wie Tisserand zeigte, einfacher daher rühren, daß die Bahn des dunklen Akolyten elliptisch und der Hauptkörper abgeplattet ist, und zwar würde es genügen, wenn die Bahn eine Excentricität von $^1/_8$ und der Hauptkörper eine Abplattung von $^1/_{288}$ besäße.

14. λ Stier. Ein Seitenstück zu Algol. Die Dauer des Lichtwechsels ist auf 10 Stunden eingeschränkt.

15. T Stier. Nahezu gleichzeitig mit Hind von Auwers und Chacornac erkannt. Südlich geht ihm ein veränderlicher Nebel voraus (§ 214).

20. R Hase. Wegen seiner auffallenden Färbung von Hind 1845 als „Crimson star“ bezeichnet.

21. R Fuhrmann. Die Lichtzunahme zeigt die seltene Erscheinung eines längeren Stillstandes in der Größenphase 9·2 bis 9·0, zwei bis vier Monate vor dem Maximum. Ebenso ist auch die Zunahme des Lichtes im allgemeinen langsamer als die Abnahme. Ein ähnliches Verhalten zeigt T Zwillinge (Rektascension $7^h\ 43{\cdot}3^m$ Deklination $+23^0\ 59'$).

22. S Fuhrmann. Das Spektrum dieses Sternes gehört der Klasse III b an.

23. T Fuhrmann. Die erste Nachricht vom Aufleuchten dieses Sternes rührt von Rev. Th. Anderson her, der ihn höchst wahrscheinlich das erste Mal

in den Morgenstunden des 23. Januar 1892 und auch in der folgenden Woche noch mehrmals bemerkte, aber für den benachbarten Stern 26 Fuhrmann hielt, bis er am 30. Januar seinen Irrtum erkannte und sich überzeugte, daß er eine Nova vor sich habe. Als dies bekannt wurde, ließ Pickering die zahlreichen auf der Sternwarte des Harvard College ausgeführten Photographien dieser Himmelsgegend nochmals genau revidieren und kam dabei über die Vorgeschichte dieses Sternes zu folgenden interessanten Ergebnissen. Auf 18 Photographien zwischen 3. November 1885 und 2. November 1891, welche noch die Sterne 11. Größe enthalten, fehlt er: ebenso auf einigen weiteren bis zum 1. Dezember reichenden, auf denen aber bloß die Sterne bis zur 6. Größe abgebildet sind. Das erste Mal erscheint er auf einer Photographie vom 10. Dezember 1891 als ein Stern der Größe 5·4, nahm bis 18. Dezember an Helligkeit bis zur Größe 4·4 zu und sank hierauf bis zum 20. Januar wieder zur Größe 5·2 herab, worauf ihn ein paar Tage später, also zu einer Zeit, wo er das Maximum seiner Lichtstärke schon um mehr als einen Monat überschritten hatte, Anderson mit freiem Auge auffand. Von da an nahm er unter vielfachen Helligkeitsschwankungen rasch an Größe ab und entschwand am 26. April selbst dem großen Refraktor der Lick-Sternwarte. Am 17. August tauchte er indes, jetzt aber als ein nebelartiger Stern 10. bis 11. Größe, abermals auf, so daß er, wäre seine erste Erscheinung übersehen worden, für einen planetarischen Nebel würde gehalten worden sein. Den Änderungen im Aussehen des Sternes waren auch entsprechende im Aussehen seines Spektrums gefolgt. Dasselbe glich beim ersten Aufleuchten des Sternes für den ersten Anblick sehr den Spektren früherer neuer Sterne, besonders dem der Nova von 1876 im Schwan (Nr. 113). Bei der Ausmessung der Photographien zeigte sich aber, daß man ein zusammengesetztes Spektrum vor sich habe, ähnlich dem an mehreren anderen veränderlichen Sternen beobachteten (§ 195). Es bestand nämlich nach Vogel aus einem kontinuierlichen Spektrum mit zahlreichen hellen Linien und einem von dunklen Linien durchzogenen (vgl. Nr. 70); ja aus einigen Komplikationen glaubt Vogel sogar auf die Superposition von 3 Spektren schließen zu dürfen. Beim zweiten Erscheinen des Sternes war sein Spektrum bloß aus einzelnen hellen Linien und Liniengruppen zusammengesetzt und unterschied sich nach Campbell von den Nebelspektren nicht mehr, als diese selbst unter einander verschieden sind.

Aus der gegenseitigen Verschiebung der hellen und dunklen Linien (§ 183) der Mitte Februar 1892 übereinander gelagerten Spektren zog Vogel den Schluß, daß die Materie, welche das Spektrum mit dunklen Linien lieferte, mit der enormen Geschwindigkeit von 670 km in der Sekunde im Visionsradius auf die Erde zueile, diejenige aber, welche das Spektrum mit hellen Linien gab, sich jede Sekunde um 480 km von ihr entferne. Während der zweiten Erscheinung lieferten die Beobachtungen von Campbell anfangs September 1892 noch eine Annäherung des Nebelsternes von 300 km in der Sekunde; im Februar 1893

war sie nahezu auf Null gesunken, im September 1893 hingegen neuerdings auf 90 km gestiegen.

Seit August 1892 hat der Stern wieder mehrfache unregelmäßige Helligkeitsschwankungen durchgemacht und sich dabei auch noch im Jahre 1895 wiederholt zur 10. Größe gehoben.

24. T Orion. Von den vielen mutmaßlich Veränderlichen im Orionnebel ist bloß dieser aufgenommen, dessen bedeutende Lichtschwankungen noch am genauesten von Schmidt studiert wurden. Auch 0·5° südlicher und 0·7° nordwestlich befinden sich veränderliche.

28. R Einhorn. In der Spitze eines hellen kometenähnlichen Nebelfleckes.

29. S Einhorn = 15 Flamsteed, mit 2 Begleitern 9. und 11.—12. Gr., Dist. 2·8″ und 16″, Hauptstern eines grob zerstreuten Sternhaufens.

30. ζ Zwillinge. Bereits 1785 von Wurm vermutet.

31. L_2 Argo (Rumpf). Die Lichtänderung erfolgt während des Maximums sehr rasch; die rote Färbung besonders auffallend in den schwächeren Phasen. Der 15ˢ vorausgehende 32′ südlichere Stern L_1 Argo scheint ebenfalls veränderlich.

32. R Großer Hund ist wieder ein Veränderlicher vom Algoltypus. Die Lichtschwankung dauert 5 Stunden.

33. V Zwillinge steht in der Mitte einer kleinen Gruppe von 7 bis 8 Sternen.

35. U klein. Hund hat nach Vogel ein höchst interessantes, gut ausgeprägtes Bandenspektrum, bei dem die brechbarsten Teile so stark absorbiert sind, daß es auf den ersten Blick den Eindruck macht, als wäre das Spektrum nur halb vorhanden. Man erkennt jedoch in dem sehr matten Blau und Violett deutlich drei breite dunkle Streifen. Mehrere andere, nicht so breite Streifen scheinen sich auch im Grün, Gelb und Rot zu befinden; sie lassen sich jedoch wegen der Schwäche des Gesamteindruckes, welchen das Spektrum macht, nicht bestimmt fixieren. Auch das Spektrum eines vorhergehenden gelben Sternes ist von gleicher Beschaffenheit, nur weniger stark ausgeprägt. Neben diesem Sterne, 6·5ˢ östlicher und 1·6′ nördlicher sah Schmidt am 1. April 1879 noch einen Stern 9. Größe, der aber nach Baxendell eine Stunde später schon wieder verschwunden war und seither auch, wie es scheint, nie wieder gesehen wurde.

36. U Zwillige ist einer der rätselhaftesten Veränderlichen. Er verweilt fast beständig nahe am Minimum, wächst dann häufig mit erstaunlicher Geschwindigkeit zum Maximum an und sinkt dann wieder in 5 bis 12 Tagen zum Minimum herab. Die Dauer einer solchen Periode wechselt von 2 bis 5 Monaten. Nach Winnecke im selben Parallel 18ˢ östlich wieder ein Variabler.

39. S Krebs. Abermals ein Veränderlicher vom Algol-Typus, bei dem die Lichtschwankungen 21·5 Stunden andauern, von denen 8·5 Stunden auf die Abnahme und 13 auf die Zunahme entfallen.

43. R Argo (Kiel). Die Dauer des Maximums kurz; die rötliche Farbe selbst im Minimum sehr merkbar.

48. U Löwe. In der B. D. als $9{\cdot}5^{mg}$ angegeben, von Peters bis Anfang 1873 als 11^{mg} gesehen, seit 30. Dezember 1873 unsichtbar.

51. η Argo, ein sehr interessanter Stern. Schon Halley hatte bei seinem Aufenthalte auf St. Helena i. J. 1677 die Veränderlichkeit mehrerer Sterne im Sternbilde des Schiffes bemerkt; aber er gelangte bei der Unvollkommenheit seiner Schätzungen zu keinem bestimmten Resultate. η Argo schätzte er 4. Größe. Lacaille fand den Stern 1751 2. Größe. Aber diese Helligkeit verminderte sich später wieder, denn Burchell schätzte ihn 1811 bis 1815 wie Halley nur 4. Größe. Fallows und Brisbane sahen ihn 1822 bis 1826 2. Größe, und Burchell im Februar 1827 1. Größe, ganz α Kreuz gleich; nach einem Jahre war er nur noch 2. Größe, und so blieb er bis 1837. Aber am 16. Dezember 1837 fand ihn John Herschel von solcher Lichtintensität, daß er fast dem Sterne α Centaur gleichkam und alle anderen Sterne 1. Größe außer Sirius und Canopus an Glanz übertraf. Am 2. Januar 1838 erreichte er das Maximum seiner Helligkeit und wurde dann bald schwächer als Arctur, erhielt sich aber bis März 1843, obwohl fortwährend im Abnehmen begriffen, als Stern erster Größe. Im April 1843 nahm das Licht wieder so zu, daß nach den Beobachtungen von Mackay in Kalkutta und Maclear am Kap seine Helligkeit wieder fast der des Sirius gleich kam. So blieb er bis Anfangs 1850, wo ihn noch Gilliß auf einer Reise in Chili beobachtete und Canopus gleich fand. In den folgenden Jahren nahm er wieder an Helligkeit ab, war nach Powell 1859 bereits zu einem Sterne 3. Größe und 1861 zu einem 4·3. herabgesunken; als solchen sah ihn noch 1862 Kapitän Jacob auf seiner Rückreise aus Indien nach Europa. 1867 war er dem freien Auge kaum mehr wahrnehmbar, und nahm von 1871 bis 1878 von der Größe 6·6 noch bis auf 7·4 ab. Der Stern steht innerhalb eines ausgedehnten Nebels, in dem nach einigen Beobachtern ebenfalls Veränderungen vorgehen sollen (§ 213); außerdem befinden sich in der Nähe noch mehrere Variable, unter anderem T Argo (Rektasc. $10^h\ 51{\cdot}3^m$; Dekl. $-59^\circ\ 54'$).

52. R Becher nennt J. Herschel: scarlet, almost blood colour.

53. S Löwe gehört zu den wenigen Variabeln, bei denen die Lichtzunahme langsamer erfolgt als die Abnahme.

54. T Löwe. Wurde 1863 unsichtbar, 1865 indes neuerdings wiederholt beobachtet, seit 1866, vielleicht mit Ausnahme einer Spur im Februar 1874, nicht mehr gesehen.

56. R Fliege. Der erste Stern, dessen Veränderlichkeit durch die systematischen Beobachtungen für die U. A. aufgefunden wurde. Er steht im Maximum seiner Helligkeit gerade an der Grenze der Sichtbarkeit für ein scharfes Auge, ist daher abwechselnd bald sichtbar, bald unsichtbar. Der Lichtwechsel vollzieht sich

innerhalb 21 Stunden 10 Minuten, wovon 13·5 Stunden auf die Abnahme und nur 7·7 auf die Zunahme entfallen.

57. R Hyder. Die Länge der Periode hat, seit der Stern (der übrigens bereits im April 1662 von Hevel wahrscheinlich als 6^{mg} und im April 1672 von Montanari als 4^{mg} beobachtet wurde), genauer verfolgt wird, jedenfalls bedeutend abgenommen. Sie betrug nämlich nach Chandler zwischen Hevel und Maraldi (1662—1704) wahrscheinlich $521{\cdot}4^{Tg}$; zur Zeit Maraldi's (1704—1712) 505^{Tg}; zwischen Maraldi und Pigott (1708—1784) $502{\cdot}6^{Tg}$ und scheint sich zwischen 1784 und 1877, abgesehen von vermutlich periodischen Unregelmäßigkeiten, gleichförmig von $485{\cdot}5^{Tg}$ auf $436{\cdot}2^{Tg}$ verkürzt zu haben.

59. Jungfrau. Schon 1866 von J. F. Schmidt als der Veränderlichkeit verdächtig angegeben worden. Das Hauptinteresse des Sterns liegt aber darin, daß er schon von Ptolemäus als 19 Jungfrau beobachtet worden zu sein scheint.

61. T Bootes. Sank zwischen 9. und 23. April 1860 von der Größe 9·7 bis zur Unsichtbarkeit herab und wurde seither nicht wieder gesehen. War vielleicht eine kurz vor dem Erlöschen aufgefundene Nova.

62. R Centaur. Hellrot wie schon J. Herschel bemerkte.

65. δ Wage. Vom Algol-Typus; die Lichtvariation vollzieht sich innerhalb 12 Stunden.

66. U Wage. In demselben Parallel befinden sich $5{\cdot}8^{m}$ vorher und $4{\cdot}5^{m}$ nachher noch zwei Veränderliche X und Z Wage, die ebenfalls von C. H. F. Peters entdeckt wurden.

67. Wage. $1^{m}\,5^{s}$ westlicher und 13′ südlicher befindet sich ein Doppelstern, von dem, wie bereits W. Struve vermutete, mindestens eine Komponente variabel ist.

68. R Krone. Lichtänderung höchst unregelmäßig; im Maximum und Minimum oft jahrelang unmerklich, dazwischen in sehr ungleichen Intervallen Phasen des verschiedensten Gepräges mit häufig ungemein rascher Lichtabnahme. Nahe in derselben Rektascension und nur 7′ südlicher steht nach J. F. Schmidt noch ein Veränderlicher.

70. T Krone. Dieser merkwürdige, schon in der Bonner Durchmusterung als 9·5 Größe vorkommende Stern leuchtete im Mai 1866 plötzlich mit der Helligkeit von α Krone (Gemma), somit in 2. Größe auf. Die ersten sicheren Beobachtungen, am 12. Mai, rühren von J. Birmingham zu Tuam in Irland und von Fargubar zu Washington her; in der folgenden Nacht sahen ihn Schmidt zu Athen und Courbebaisse in Rochefort; vom 14. Mai an wurde er allgemein bemerkt. Barker in London (Westkanada) will dessen Licht bereits vom 4. Mai an zunehmend beobachtet und den Stern auch im Frühling 1864 oder 1865 mit freiem Auge gesehen haben, was aber von Schmidt, Baxendell und Courbebaisse nach ihrer genauen Kenntnis dieser Himmelsgegend entschieden bestritten wird. Schon am 13. Mai war der Stern in starker Abnahme, am

20. nur noch teleskopisch, also unter 6. Größe, und nimmt nach Schmidt's bis Ende 1882 reichenden Beobachtungen seitdem im allgemeinen noch immer, wenn auch sehr langsam an Helligkeit ab, wobei er jedoch innerhalb längerer Periode schwach veränderlich ist. Baxendell sah den Stern zur Zeit seines Aufloderns gelb, durch einen bläulichen Schleier schimmernd. Huggins fand am 16. Mai 1866, dem ersten Tage seiner Beobachtungen, den Stern mit einem schwachen Nebel umgeben, von dem er auch am 17. noch Spuren bemerkte. Mit dem Spektroskop erkannte Huggins, daß das Licht des Sternes aus zwei verschiedenen Quellen stammt; denn es zeigten sich zwei übereinanderliegende Spektra: eines ähnlich dem der Sonne, also durch das Licht einer glühenden soliden oder flüssigen Photosphäre erzeugt, das in einer Hülle von geringerer Temperatur Absorption erfuhr; das andere in lichten Linien bestehend, also von einem glühenden Gase herrührend. Daß dieses letztere nicht von dem oben erwähnten schwachen Nebel gebildet ward, ging aus dem Glanze der Linien sowie daraus hervor, daß diese Linien sich nicht über die Grenzen des kontinuierlichen Spektrums erstreckten. Nach der Stellung der Linien schien das Gas hauptsächlich aus Wasserstoff zu bestehen. Huggins glaubt, daß infolge einer Katastrophe große Quantitäten Gas frei geworden seien, daß der vorhandene Wasserstoff in Verbindung mit anderen Elementen verbrannte und die lichten Linien erzeugte, wie auch die Photosphäre in lebhafte Glut versetzte. Sobald der Wasserstoff-Vorrat erschöpft war, nahmen alle Erscheinungen ab und der Stern erblaßte wieder zusehends.

71. T Skorpion. Sieben Tage nach Auwers von Pogson entdeckt in dem kugelförmigen Sternhaufen Messier 80 (§ 202). Am 18. Mai 1860 noch nicht wahrnehmbar, ward der Stern am 21. Mai von Auwers deutlich erkannt, nahm aber rasch an Licht wieder ab, so daß er am 16. Juni von dem hellen Hintergrunde des Sternhaufens, an dessen Grenze sich noch zwei Veränderliche (Nr. 72 und 73) finden, nicht mehr zu unterscheiden war. Schönfeld sah schon 1869 Juni 1. nur noch eine unsichere Spur des Sternes.

74. U Skorpion. Von Pogson 20. Mai 1863 als 9. Größe gesehen, war 28. Mai schon unter 12. Größe gesunken und 1. Juni während der totalen Mondfinsterniß unsichtbar. Auch seitdem wurde der Stern, so viel bekannt, nie wiedergesehen.

75. V Ophiuchus. Der Farbe wegen wurde die Variabilität dieses Sternes schon früher von Baxendell vermutet. Das Spektrum gehört nach Dunér der Klasse IIIb an und zeigt im Maximum 3 helle Zonen, von denen im Minimum aber nur 2 sichtbar sind.

78. R kleiner Bär. Von Pickering im Jahre 1881 wegen seines eigentümlichen Bandenspektrums der Variabilität für verdächtig gehalten und infolgedessen genauer untersucht, wobei sich die Vermutung in der That bestätigte.

80. Ophiuchus. Der Entdecker sah noch 1848 April 3 oder 5 an dem Orte kein Objekt 9·5 Größe oder heller und fand den Stern am 27. April

6. Größe. Seitdem nahm die Helligkeit wieder ab, jetzt ist der Stern 12. bis 13. Größe, ohne merkliche Änderung seit 1867.

81. α Herkules. Sehr unregelmäßig, oft kaum merkbar veränderlich. Der hellere eines Doppelsternes von 5″ Distanz.

82. U Ophiuchus. Wurde schon von Schjellerup in den Noten zu seinem Kataloge wegen der sehr bedeutenden Schwankungen in den Größenschätzungen als variabel angegeben, was aber keine Beachtung gefunden zu haben scheint. Er ist ein sehr interessanter Vertreter der Veränderlichen vom Algol-Typus, dessen Periode anfänglich wegen ihrer Kürze, wie bei δ Wage u. A., für ein Multiplum der wahren gehalten wurde, bis Chandler die wahre Dauer derselben erkannte. Der Stern glänzt durch nahezu 16 Stunden im größten Lichte; die Veränderungen vom Maximum zum Minimum und wieder zurück zum Maximum werden in 4·5 Stunden vollendet. Außerdem hat aber Chandler in der Dauer der Periode des Lichtwechsels, ebenso wie bei Algol (Nr. 13) eine periodische Ungleichheit von etwa 37 Jahren nachgewiesen, die er wie dort von einem dritten dunklen Begleiter herleitet, die aber wohl auch durch Abplattung und excentrische Bahn der beiden fast in Berührung stehenden Hauptsterne einfacher erklärt werden kann.

84. Ophiuchus. Erschien als ein neuer Stern, dessen zuerst der Bischof Münter erwähnt, im Jahre 1604 am 10. Oktober im östlichem Fuße des Schlangenträgers. J. Brunowski, ein Schüler Keplers, schätzte ihn größer als alle Sterne erster Größe, heller selbst als Jupiter und Saturn, aber schwächer als Venus. Zu Anfange des Jahres 1605 war er noch immer heller als Antares, aber von geringerer Lichtstärke als Arctur. Ende März desselben Jahres wird er als 3. Größe beschrieben, und zwischen Februar und März 1606 verschwand er. Wahrscheinlich auch in China gesehen.

88. T Adler. Von J. Herschel als Plum coloured or ruddy purple notiert. Unregelmäßig veränderlich in Perioden von 3 bis 5 Monaten.

89. R Sob. Schild. Der Charakter des Lichtwechsels β Leier ähnlich, indem in regelmäßiger Folge helle und schwache Minima mit einander abwechseln.

90. β Leier. Einer der merkwürdigsten Veränderlichen, welcher in jeder Periode seines Lichtwechsels 2 Maxima und 2 Minima besitzt. Aus 20jährigen von 1840 bis 1859 angestellten Beobachtungen zog Argelander über den näheren Verlauf des Lichtwechsels dieses Sternes den Schluß, daß dem Hauptminimum (4·5) nach 3 Tagen 2 Stunden ein erstes Maximum (3·4), diesem nach $6^{Tg}\ 10^{h}$ ein zweites Minimum (3·9) und diesem endlich nach $9^{Tg}\ 13^{h}$ ein zweites Maximum (3·4) folge. Nach neueren Untersuchungen von Reed hat sich aber im Laufe der letzten 40 Jahre die Lichtcurve insofern wesentlich geändert, als jetzt dem Hauptminimum erst in $3^{Tg}\ 12^{h}$ das erste Maximum, dann in $6^{Tg}\ 16^{h}$ das zweite Minimum, und hierauf in $9^{Tg}\ 17^{h}$ das zweite Maximum folgt.

Das Spektrum des Sternes ist ein sehr kompliziertes und weist periodische Variationen in Intensität, Verdoppelungen einiger dunkler Linien und Änderungen in den Lagen der hellen Linien gegen die dunklen auf, die mit der Periode des Lichtwechsels im Zusammenhange stehen. Es läßt sich dies alles noch am ungezwungensten aus der Überlagerung von zwei Spektren mit dunklen, und einem mit hellen Linien erklären, welche von drei Körpern stammen, die einander ungemein nahe stehen, und in raschen Bahnbewegungen begriffen sind, bei denen während jedes Umlaufes gegenseitige partielle Verfinsterungen vorkommen, welche die Variabilität des Sternes bedingen (Vgl. § 195).

93 bis 95. S, R, T Südl. Krone. Eine sehr interessante Gegend des Himmels. Die beiden letztgenannten Sterne stehen an der westlichen und östlichen Ecke eines schwachen Nebelfleckes, der sich ein wenig westlich von einem kleinen Sternhaufen befindet, weisen also als Seitenstück zu R Einhorn (Nr. 28) die Verbindung eines Nebels mit zwei Veränderlichen auf. Der östlichere, kleinere Stern war nach Schmidt 1861 bis 1872 unsichtbar, zeigte sich dann zwischen 1872 und 1876 zuweilen als unmeßbar feiner Punkt, der aber seither erheblich an Helligkeit zugenommen hat. In der Nähe noch der dritte Veränderliche S südl. Krone. Die Veränderlichkeit aller 3 hier genannten Sterne scheint sehr unregelmäßig vor sich zu gehen, so daß die für R angegebene Periode sehr wenig Vertrauen verdient.

98. 11 Fuchs, 1670 am 20. Juni entdeckt als Stern 3. Größe, der aber schon nach zwei Monaten bis zur 5 Größe herabsank. Bald darauf verschwand er, zeigte sich aber wieder am 17. März 1671, wo er ungefähr 4. Größe war. Dominik Cassini, der ihn in Paris fleißig beobachtete, fand seine Helligkeit sehr veränderlich. Während des Jahres 1671 verschwand er abermals, und man hoffte, ihn im Februar 1672 in seinem alten Glanze wieder zu sehen. Aber er erschien erst am 29. März desselben Jahres und nur 6. Größe. Seitdem hat man ihn mit Sicherheit nicht mehr gesehen. Der hier gegebene Ort ist von Schönfeld aus den Beobachtungen von Hevel und Picard abgeleitet; nahe an demselben, nämlich nur 4^s östlicher und beiläufig im selben Parallel befindet sich ein kleiner Stern, der nach Hind Spuren von Variabilität zeigt, und den er deshalb vielleicht für identisch mit 11 Fuchs hält. Übrigens befinden sich in der Nachbarschaft innerhalb weniger Bogenminuten noch weitere 3 sehr kleine Sterne, und etwas entfernter S Fuchs (Rektascension $19^h\ 44{\cdot}3^m$, Deklination $+27^\circ\ 2'$), dessen Veränderlichkeit schon 1837 von Rogerson und Glaisher vermutet wurde. Baxendell will überdies ganz nahe an S noch 3 andere Variable beobachtet haben, so daß auf eine Fläche von wenig mehr als einer Quadratminute 4 Veränderliche kämen, ganz abgesehen von dem nur $11{\cdot}3'$ entfernten 11 Fuchs mit seinem Begleiter.

100. η Adler häufig auch η Antinous genannt.

102. R Pfeil. Die Lichtkurve hat wie bei β Leier eine doppelte Periode.

104. R Delphin, von Hencke 1851 August 16 in 9. Größe als vermeintlich neuer Planet aufgefunden.

105. P Schwan = Nr. 34 dieser Konstellation nach Bayer. Er war beim Erscheinen 3. Größe, nahm von 1619 an wieder an Helligkeit ab und verschwand 1621. D. Cassini sah ihn i. J. 1655 wieder, wo er abermals bis zur 3. Größe gelangte, aber sehr bald verschwand. Zum drittenmale erschien er im November 1665 wieder, wo ihn Hevel beobachtete, erreichte aber die 3. Größe nicht mehr und nahm langsam an Helligkeit ab, bis er (zwischen 1677 und 1682) die 5. Größe erreichte, die er seitdem beibehalten zu haben scheint. Der Entdecker dieses Sternes heißt nach Backhuyzen eigentlich Wilhelm Johann Bläu, indem der gewöhnlich angegebene Name Janson dem damaligen Gebrauche gemäß nichts anderes als Sohn Jan's bedeutet. J. Bläu war Fabrikant sehr geschätzter Himmelsgloben und lebte 1598 bis 1638.

107. V Schwan. Der Entdecker Birmingham hält diesen Stern für den rötesten des Nordhimmels, an Intensität der Färbung Hind's crimson star gleich. Er ist ein schönes Exemplar des Spektrums der Klasse III b; das Rot und Gelb nehmen fast die Hälfte des sichtbaren Spektrums ein; das letztere ist besonders intensiv, Blau äußerst schwach, Violet ganz absorbiert.

109. Y Schwan. Den merkwürdigen Gang der Kurve des Lichtwechsels dieses dem Algol-Typus angehörenden Sternes erklärt Dunér durch die Annahme, daß er ein äußerst enger Doppelstern (§ 195) sei, dessen Bahnebene mit der Erdbahn zusammenfällt, so daß die beiden Komponenten bei jedem Umlaufe sich zweimal decken und so bei jedem Umlaufe zwei Minima hervorbringen, die aber wegen der Excentricität der Bahn nicht gleich weit von einander abstehen.

113. Q Schwan. Von Schmidt in Athen am 24. November 1876 mit nahe 3. Größe an einer Stelle des Himmels entdeckt, wo früher sicherlich kein Stern 9. Größe oder darüber stand und Schmidt noch am 20. November kein Gestirn auch nur 5. Größe bemerkte. Der Stern zeigte nach Schmidt Nov. 24—27 nahe dasselbe Licht, nahm aber vom 27. an mit manchen Schwankungen rasch ab, war am 1. Dez. schon unter 5., am 8. Dez. 6.—7., am 15. Dezember 7., 1877 Mitte Februar 7.—8. Größe. Von da an konnte der Stern mehrere Monate lang wegen ungünstiger Stellung am Himmel nicht weiter verfolgt werden. Während dieser Zeit trat nun ein weiterer bedeutender Rückgang in der Helligkeit desselben ein, indem er im September 1877 nur noch 10.—11. Größe erschien. Seither hat seine Lichtstärke unter mannigfachen Fluktuationen sich allmählich bis auf die in der Tabelle angegebene Größe vermindert.

Das Spektrum des Sternes war in der ersten Zeit seiner Sichtbarkeit nach Cornu, Vogel u. A. ein kontinuierliches, von dunklen Streifen und zahlreichen dunklen und mehreren hellen Linien durchzogenes. Von den hellen Linien gehörten 3 dem Wasserstoffe, eine wahrscheinlich dem Helium (D_3 § 178) und eine weitere der hauptsächlichsten Linie des Nebelspektrums an. Die Intensität

des anfänglich sehr glänzenden kontinuierlichen Spektrums verringerte sich aber sehr bald, so daß dasselbe schon 3 Monate nach der Auffindung des Sternes nur noch zum Teil, und auch da nur noch äußerst schwach sichtbar war. Dabei erstreckte sich die Intensitätsabnahme nicht gleichmäßig über das Spektrum, sondern die blauen und violetten Strahlen verloren im Vergleich zu den grünen und gelben schneller an Glanz, während der rote Teil der schon anfangs sehr schwach und und von breiten Absorptionsbändern durchzogen war, bald ganz verschwand. Eine weitere, noch überraschendere Veränderung ging aber im Jahre 1877 während der Monate, wo der Stern nicht sichtbar war, vor sich; denn nach dem übereinstimmenden Zeugnis von Vogel und Copeland bestand sein Spektrum seit September 1877 nur noch aus einer einzigen hellen Linie, die nach beiden Seiten hin höchstens von einem überaus schwachen kontinuierlichen Spektrum umgeben war. Diese Linie koincidierte noch immer mit der hauptsächlichsten Nebelfleck-Linie, so daß, wenn man die Geschichte des Sternes nicht kennen würde, man glauben müßte, einen planetarischen Nebel von sehr geringem Durchmesser vor sich zu haben, in dessen Spektrum die zweite und dritte Linie wegen geringer Helligkeit nicht zu sehen wären (vgl. Nr. 23).

114. μ Cepheus = 1 informium circa Cepheum im Almagest, am intensivsten rot unter allen dem freien Auge sichtbaren Sternen der nördlichen Halbkugel, von W. Herschel deshalb als Garnet star ausgezeichnet.

115. δ Cepheus. Der hellere eines Doppelsternes von 41″ Distanz, zeigt eine große Regelmäßigkeit des Lichtwechsels. Er braucht $1^{Tg}\ 15^{h}$ vom Minimum bis zum Maximum, dagegen $3^{Tg}\ 18^{h}$, um wieder vom Maximum bis zum Minimum zu gelangen; von dieser Zeit ändert er sich durch 8^{h} fast gar nicht und einen ganzen Tag nur unbedeutend; dann erst beginnt wieder das Wachsen des Lichtes wie früher. Die Variabilität dieses Sternes rührt, wie bei Algol, von Verfinsterungen durch einen dunklen Begleiter her. (§ 195.)

118. U Pegasus hat unter allen bekannten Veränderlichen die kürzeste Periode. Der Lichtwechsel erfolgt nicht nach dem Algol-Typus, sondern vollzieht sich sehr regelmäßig. Maximum und Minimum sind gleich scharf markiert, und der Stern erhebt sich in derselben Zeit vom Minimum zum Maximum, in der er von diesem zum Minimum fällt.

§ 199. (Ältere Nachrichten über temporäre oder neue Sterne.) Wir besitzen auch aus dem Altertume noch eine Reihe von Nachrichten über das plötzliche Aufflammen von Gestirnen, von denen wir hier noch einige neben den beiden erwähnen wollen, die schon gelegentlich der Bemerkungen zu Nr. 4 namhaft gemacht wurden.

134 v. Chr. erschien nach chinesischen, von E. Biot interpretierten Beobachtungen zwischen β und ϱ Skorpion ein „neuer" Stern, nach J. Herschel vielleicht identisch mit der von Plinius (Hist. nat. lib. II) erwähnten Nova, die Hipparch um 125 v. Chr. zur Anfertigung seines Sternverzeichnisses veranlaßt haben soll (§ 179).

123 n. Chr. Nach chinesischen Beobachtungen zwischen α Herkules und α Ophiuchus.

173 n. Chr. Nach chinesischen Beobachtungen erschien ein neuer Stern am 10. Dez. 173 zwischen α und β des Centaur und verschwand nach 8 Monaten wieder.

386 n. Chr. im Schützen. In den chinesischen Verzeichnissen heißt es ausdrücklich, daß der Stern von April bis Juli 386 immer an derselben Stelle des Himmels stand.

389 n. Chr. soll zur Zeit des Kaisers Honorius ein früher nie gesehener Fixstern neben dem Sternbilde des Adlers erschienen sein, der durch 3 Wochen an Glanz der Venus gleich kam und später wieder völlig verschwand. Lynn, der sich die Mühe nahm, die Originalquellen nachzusehen, glaubt übrigens, daß die Nachrichten eher auf einen Kometen als auf einen temporären Stern hinweisen, wenn ihnen überhaupt etwas Wahres zu Grunde liegt.

393 n. Chr. Nach chinesischen Beobachtungen, im Skorpion.

Im 9. Jahrhundert beobachteten zwei arabische Astronomen, Haly und Albumazar, einen neuen Stern im Skorpion, dessen Licht dem des Mondes in seinen Vierteln gleich war, und der nach 4 Monaten wieder unsichtbar wurde.

1012 oder nach anderen 1006 im Widder. Den Nachrichten eines Mönchs von St. Gallen zufolge war dieser Stern von ungewöhnlicher Größe und einem Glanze, der die Augen blendete. Er wurde von Ende Mai an durch 3 Monate beobachtet und erschien sehr veränderlich; zuweilen sah man ihn auch gar nicht.

1203 im Skorpion. Nach chinesischen Beobachtungen.

1230. Nach chinesischen Beobachtungen, zwischen Ophiuchus und Schlange von Dezember 1230 bis März 1231 sichtbar.

1578. Nach chinesischen Beobachtungen. Die Intensität des Lichtes scheint außerordentlich groß gewesen zu sein, indem das chinesische Verzeichnis den Beisatz enthält: „ein Stern groß wie die Sonne".

1584 im Skorpion, nach chinesischen Beobachtungen.

1609. Nach chinesischen Beobachtungen. H. Goldschmidt hält diesen Stern für identisch mit den Erscheinungen von 393, vom 9. Jahrhundert und von 1203, wonach bei einer Periode von etwa 405 Jahren um 2014 wieder ein Aufleuchten zu erwarten wäre.

§ 200. (Natur der Veränderlichen.) Fragt man nach dem Grunde der wunderbaren Lichtwechsel der Sterne, so stößt man auf eine Menge von Hypothesen — der beste Beweis, daß die Erscheinung noch zu wenig erforscht ist, als daß man schon an eine genügende Erklärung derselben denken dürfte. Erinnert man sich aber an das, was eingangs (§ 197) über die großen Verschiedenheiten im Charakter des Lichtwechsels der einzelnen Sterne gesagt wurde, so kann man sich kaum der Ansicht verschließen, daß diese Erscheinung nicht bei allen durch dieselbe Ursache bedingt werde. Pickering teilt deshalb diese Gestirne in 5 Klassen ab.

1. Temporär hell aufleuchtende Sterne. Beispiele hierfür sind sämtliche im früheren Verzeichnisse als Nova bezeichneten und die im vorigen Paragraph zur Ergänzung hinzugefügten Sterne.

Bei jenen Sternen dieser Gruppe, deren Spektrum untersucht werden konnte, wie T Fuhrmann, T Krone, Q Schwan (Nr. 23, 70, 113) bestand es unter anderem auch aus hellen Linien, hatte also den Charakter der Spektren glühender Gase. Sie verdankten also ihr plötzliches Aufleuchten heftigen Gaseruptionen, oder dem Zusammenstoße eines Sternes mit einer kosmischen Wolke, wodurch einzelne Glieder derselben in heftige Glühhitze gerieten, also Katastrophen, die schwerlich in bestimmten Zeiträumen wiederkehren.

2. Sterne, welche große Lichtänderungen unregelmäßiger Art in Perioden von mehreren Monaten oder Jahren erleiden, wie o Walfisch, η Argo, χ Schwan (Nr. 10, 51, 99) u. a.

3. Sterne, welche einen schwachen Lichtwechsel nach bis jetzt noch unbekannten Gesetzen durchmachen, wie unter anderem α Kassiopeja und Beteugeuze (Nr. 5, 25).

4. Sterne, deren Lichtwechsel sich innerhalb einer Periode von wenigen Tagen oder Wochen mehr oder minder regelmäßig wiederholt, wie bei ζ Zwillinge, η Adler, (Nr. 30, 100).

Über die Ursache des Lichtwechsels der Sterne der 2. und 3. Klasse können wir vorläufig noch keine Meinung aussprechen; hingegen kann man den Lichtwechsel der Sterne der 4. Klasse nach Zöllner, Gyldèn, Pickering u. a. am natürlichsten durch die Annahme erklären, daß die Oberfläche der Veränderlichen ungleiche Leuchtkraft besitzt und uns vermöge der Rotation, die ja sicherlich auch bei diesen Körpern stattfindet, bald hellere, bald dunklere Stellen zukehrt. Da man nun größere Partien weniger leuchtender Stellen wohl nur bei Körpern finden dürfte, die sich schon in einem weit fortgeschrittenen Stadium der Abkühlung befinden (§ 178), ist es auch erklärlich, warum sich unter den Veränderlichen so viele rote Sterne vorfinden, und in den Spektren vieler derselben so intensive und breite Absorptionsstreifen sich vorfinden.

5. Sterne, welche nur innerhalb weniger Stunden eine regelmäßig wiederkehrende Veränderlichkeit zeigen, die übrige Zeit hingegen eine konstante Lichtstärke besitzen. Der bekannteste Repräsentant dieser Gruppe, von der wir jetzt etwa ein Dutzend Sterne kennen, ist Algol oder β Perseus (Nr. 13).

Zur Erklärung des Lichtwechsels dieser Sterne hat Pickering 1881 auf die bereits von Pigott aufgestellte Hypothese zurückgegriffen, daß dunkle Massen um diese Gestirne kreisen, und zu gewissen Zeiten zwischen sie und uns treten, und auch versucht, bei Algol dem am besten bekannten Gestirne dieser Gruppe die Bahn und Größe des dunklen Körpers zu berechnen. Die Richtigkeit dieser Hypothese wurde seither auf spektroskopischem Wege nicht nur für Algol, sondern auch noch für δ Cepheus (Nr. 115) nachgewiesen und läßt sich daher zweifellos

auf alle Sterne dieses Typus ausdehnen. Sie hat aber mit geringen Modifikationen wahrscheinlich auch noch für eine größere Zahl Veränderlicher der 4. Klasse Giltigkeit, wie dies beispielsweise für β Leyer (Nr. 90) bereits so gut wie nachgewiesen ist (vgl. § 195).

Kapitel XVIII.

Sterngruppen und Nebelmassen des Himmels.

§ 201. (Der Milchstraße ähnliche Gebilde des Himmels.) Der gestirnte Himmel ist nicht nur mit einer einzigen Art von Körpern, mit lichten runden Sternen bedeckt, sondern die Natur, deren Mannigfaltigkeit in ihren Erzeugnissen wir schon auf der Erde so oft zu bewundern Gelegenheit haben, hat diesen Reichtum ihrer Schöpfungskraft und diese Abwechselung von Formen in einem noch viel höheren Grade in jenem endlosen Weltraume entwickelt.

Selbst der erste Anblick des Himmels mit unbewaffneten Augen zeigt uns schon, daß die Sterne keineswegs gleichförmig an ihm verteilt sind. Wer kennt nicht die schöne Gruppe von Sternen am Halse des Stiers, die mit dem Namen der Plejaden oder der Gluckhenne bezeichnet wird? Das Haar der Berenice, die Krippe im Krebse u. s. w. sind ähnliche zu dichtgedrängte Sammlungen von Fixsternen, als daß man sie nicht als zusammengehörend und gleichsam für ein familienweise verbundenes, für sich abgeschlossenes System von Himmelskörpern zu halten veranlaßt werden sollte.

Was sollen wir aber erst von der bereits oben betrachteten Milchstraße sagen, von jenem schönen hellen Bogen, der in Gestalt eines größten Kreises durch den ganzen Himmel zieht? Einzelne Teile dieser lichten Zone sind durch einen ganz besonders hellen Glanz ausgezeichnet; in anderen hingegen sieht man gleichsam dunkle Öffnungen und Spalten oder auch seitwärts auslaufende Äste. Schon mäßige Fernrohre lösen uns die hellsten Gegenden dieser Zone in unzählige kleine, dichtgedrängte Fixsterne auf, und mit guten Teleskopen sieht man, daß diese Stellen desto sternreicher sind, je heller sie dem bloßen Auge erscheinen, zum Beweise, daß das Licht dieser Sternstraße bloß von den in ihr gehäuften und dicht gedrängten Sternen kommt, obschon mehrere Stellen derselben auch durch unsere besten Instrumente sich nicht mehr in einzelne Sterne auflösen lassen, wahrscheinlich, weil diese dort zu entfernt von uns und zu nahe nebeneinander stehen, um noch einzeln erkannt zu werden.

Der ganze Bau dieser wunderbaren Zone von wahrhaft unzähligen Sternen zeigt uns, daß sie ein isoliertes System von Sonnen am Himmel bildet, zu welchem auch unsere eigene Sonne als ein zwar kleiner, aber doch integrierender Teil gehört. Wir haben bereits oben (§ 180) gezeigt, daß diese Milchstraße im

allgemeinen die Gestalt einer Linse habe, von deren Mittelpunkt unser ganzes Sonnensystem nicht eben weit entfernt sein kann. Wenn dasselbe aber nicht in der Nähe dieses großen, linsenförmigen Sternengebäudes, sondern wenn es weit entfernt von demselben läge, so würden wir die Milchstraße nicht mehr unter der Gestalt eines größten Kreises des Himmels, sondern als einen kleineren Kreis oder vielmehr als eine Ellipse sehen, die aber einem Kreise desto näher käme, je mehr unsere Gesichtslinie auf der Ebene dieser Linse senkrecht stände. Wenn wir z. B. um den größten Durchmesser der Linse senkrecht von ihr abständen, so würden wir sie als eine kreisförmige Scheibe von beiläufig 60° im scheinbaren Durchmesser, also nahe so groß sehen, wie uns jetzt das Sternbild des großen Bären erscheint. In einer Entfernung von 10 Durchmessern aber würde diese Linse nur 5·5°, und in einer Entfernung von 100 solchen Durchmessern nur noch 0·5° einnehmen. In dieser letzten Entfernung würden wir selbst mit unseren besten Fernrohren die einzelnen Sterne der Milchstraße nicht mehr erkennen, und das Ganze würde uns nur noch als eine kleine, matt beleuchtete Wolke erscheinen.

Solche kleine, matte Lichtwolken sehen wir mit unseren Fernrohren in der That sehr viele am Himmel. W. Herschel hat ihrer bereits gegen dritthalbtausend entdeckt, und es gelang ihm auch mit Hilfe seiner vortrefflichen Teleskope, viele derselben in einzelne Sterne aufzulösen, zum Beweise, daß sie in der That nichts anderes als eben solche Aggregate von Fixsternen wie unsere Milchstraße sind. Aber viele derselben behalten auch in den besten Fernrohren noch immer ihre frühere Gestalt von Wolken oder Nebeln bei, und diese müssen daher, wenn sie anders noch aus Sternen bestehen, noch ungleich weiter als jene von uns entfernt sein. Doch ist es auch möglich, daß mehrere von ihnen Himmelskörper von einer ganz andern Art sind als diejenigen, welche wir bisher kennen gelernt haben, nämlich wirkliche Lichtnebel, und daß dies thatsächlich der Fall sei, hat uns das Spektroskop gelehrt.

Die erste Spur von Aufmerksamkeit, welche diese Objekte erregten, finden wir bei Ptolemäus, welcher wahrscheinlich nach Hipparch deren 5 aufführt, von denen zwei wirkliche Sternhaufen sind. Halley nennt mit Inbegriff des südlichen Himmels weitere 6 „Nebulosae“, die zum Teile noch jetzt als unauflösbare Nebel gelten. Die erste systematische Durchsuchung des Himmels in dieser Beziehung stammt von Lacaille, der bei seinen Zonenbeobachtungen am Kap der guten Hoffnung 42 Nebel und Sternhaufen fand, deren Positionen er 1755 der Pariser Akademie mitteilte. In den Jahren 1771—1784 publizierte Messier ein Verzeichnis von etwa 100 durch ihn und andere entdeckten Gegenständen dieser Art. Eigentlich begründet aber wurde unsere Kenntnis der Nebel und Sternhaufen wie die der Doppelsterne durch W. Herschel, dessen in den Jahren 1786, 1789 und 1802 erschienene Teilkataloge i. J. 1862 von Auwers übersichtlich zusammengefaßt wurden und eine Ausbeute von nicht weniger als 2500 solcher Objekte

ergaben. Sir John Herschel lieferte, nachdem er bereits auf europäischem Boden zahlreiche und wichtige Ergänzungen zu seines Vaters Leistungen auf diesem Gebiete bekannt gemacht hatte, während seines Aufenthaltes am Kap der guten Hoffnung (1834—1838) eine bewunderungswürdige Bearbeitung des südlichen Himmels in derselben Richtung und vereinigte i. J. 1864 alle bisher bekannten Sternhaufen und Nebel in einen 5079 Nummern enthaltenden Katalog, welchen Dreyer 1888 umarbeitete, und durch das Einbeziehen der inzwischen neu entdeckten Gebilde dieser Art auf 7840 Objekte erweiterte, denen er 1895 in einem Nachtrage noch 1529 seit Ende 1887 aufgefundene Gebilde dieser Art hinzufügte. Mehr oder minder sporadische und monographische Beiträge verdanken wir d'Arrest, Bigourdan, Engelhardt, Marth, G. Rümker, Schönfeld, Schultz, Stephan, Spitaler, L. Swift, Tempel u. a., während Lassell und Rosse uns mit ihren riesigen Teleskopen offenbar erst in das eigentliche Detail dieser Himmelskörper eingeführt haben, da erst durch sie eine bei solchen Gestirnen schwer glaubliche Regelmäßigkeit in Gestalt und Anordnung mehr und mehr zu verschwinden begann.

Wenn man die erwähnten Kataloge näher betrachtet, so sieht man, daß einige Gegenden des Himmels sehr reich an diesen Gegenständen sind, während andere beinahe nichts von ihnen enthalten. Gewöhnlich trifft man sie in ganzen Lagern nebeneinander geschichtet an. J. Herschel bemerkt in dieser Hinsicht, daß die meisten Sternhaufen und alle unregelmäßig geformten Nebelflecke in oder nahe bei der Milchstraße, hauptsächlich um Orion, Argo, Schütze und Schwan liegen, während die regelmäßig gestalteten auf der nördlichen Hemisphäre in einer durch den Pol der Milchstraße ziehenden Zone um die Löwen, den großen Bären, die Jagdhunde, das Haupthaar der Berenice, Bootes und Jungfrau angehäuft, auf der südlichen Halbkugel hingegen ziemlich gleichmäßig verteilt sind mit alleiniger Ausnahme der Kapwolken. Dabei ist die äußerste Grenze dieser Nebellager scharf abgeschnitten und unmittelbar bei diesen Nebeln der Himmel sehr arm an solchen Gebilden.

Zur Erleichterung der Übersicht sonderte W. Herschel diese Objekte in 8 Klassen, deren Grenzen aber wegen der großen Verschiedenheit dieser Gebilde nicht scharf geschieden werden konnten und zuviel Willkürliches enthielten, als daß sie lange zum eigentlichen Einteilungsgrunde eines größeren Verzeichnisses hätten dienen können. Überdies tritt hier noch der Umstand hinzu, daß das Aussehen eines Nebelfleckes mit der Vergrößerung der optischen Kraft des zu seiner Betrachtung verwendeten Fernrohres fast stets sich so verändert, daß man ein wesentlich verschiedenes Objekt vor sich zu haben meint. Am leichtesten kann man sich davon überzeugen, wenn man die Beschreibungen vergleicht, die Messier, beide Herschel, Rosse u. a. von denselben Nebeln gegeben haben, und auch wir werden später Gelegenheit finden, einige merkwürdige Beispiele dieser Art zu besprechen. Man hat es daher schon lange vorgezogen, diese Gegenstände ganz so,

wie man es mit den Planeten und Fixsternen zu thun pflegt, einfach nach Rektascension und Deklination zu registrieren und die Herschel'sche oder eine ähnliche Einteilung nur nebenher beizubehalten, — ein Vorgang, dem auch wir uns bei der Beschreibung einzelner der interessantesten dieser Objekte auf den nächsten Seiten anschließen werden.

§ 202. (Eigentliche Sterngruppen.) Sterngruppen oder auch Sternhaufen nennt man diejenigen isolierten lichten Stellen des Himmels, die sich, durch bessere Fernrohre, durchaus in einzelne Sterne auflösen lassen, während sie mit freien Augen entweder nur als matte Lichtwolken oder auch, im gewöhnlichsten Falle, gar nicht sichtbar sind. Einige derselben kann man schon mit Fernrohren von 8 bis 10 cm Öffnung sehen, und wir werden diese besonders betrachten, damit die Leser, die mit solchen Instrumenten versehen sind, diese Gegenstände am Himmel selbst nachsehen und näher kennen lernen mögen. (S. 673, Note.)

Die in den folgenden Angaben aufgeführten Rektascensionen AR und Deklinationen D gehören durchaus für das Jahr 1900 und gelten beiläufig für die Mitte dieser Gegenstände, deren Durchmesser meistens sehr bedeutend sind.

Zu diesen Sterngruppen gehören also vorerst jene, die man schon mit freien Augen oder doch mit sehr schwachen Fernrohren als Ansammlungen von Sternen erkennt. Solche sind:

AR = 55° 23′, D = + 23° 48′, die bekannten Plejaden oder die Gluckhenne am Halse des Stiers, mit freien Augen auflösbar. S. Atlas des gestirnten Himmels, Fig. 4.

AR = 33° 1′, D = + 56° 41′, und AR = 33° 51′, D = + 56° 38′, h und χ im Schwerte des Perseus, dem unbewaffneten Auge als lichte Wolke auffallend, im Fernrohre sofort als zwei sehr reiche Sternhaufen zu erkennen, eines der herrlichsten Objekte des Himmels. Die nördlichere Gruppe (h) besteht aus Sternen 7. bis 12. Größe, die südlichere (χ) hat einen roten Stern in der Mitte.

AR = 128° 45′, D = + 20° 20′, die sogenannte Krippe oder Präsepe im Sternbilde des Krebses. S. Atl. d. g. H., Fig. 6. Diese und die vorhergehende Gruppe schon von Hipparch erwähnt.

AR = 178° . . ., D = + 26° . . ., das Haupthaar der Berenice, mit freien Augen auflösbar.

Ohne uns weiter bei diesen und ähnlichen Gegenständen aufzuhalten, gehen wir sofort zu den eigentlich teleskopischen Sterngruppen über, deren man so viele am Himmel bemerkt. Ihre Gestalt ist beinahe durchaus rund und oft selbst genau kreisförmig; die Sterne, aus welchen sie zusammengesetzt sind, scheinen meistens gleich groß zu sein, und nur zuweilen findet man einen oder einige größere Sterne in der Mitte dieser Gruppen. Diese größeren Sterne sind dann oft durch eine rote Farbe ausgezeichnet oder auch Doppelsterne. Die Kreisform findet man vorzüglich bei allen jenen Gruppen, deren Sterne sehr klein und gedrängt sind, während die anderen an ihren Grenzen unregelmäßig sind und oft

selbst in Zweige und Arme auslaufen. Die Anzahl der Sterne in den sehr gedrängten Gruppen ist oft wahrhaft außerordentlich. An ein eigentliches Zählen läßt sich da nicht mehr denken; aber nach W. Herschel's Schätzungen sind oft wenigstens 5000 Sterne in einem kugelförmigen Raume zusammengepreßt, dessen scheinbarer Durchmesser kaum 8′ bis 10′ hat, dessen scheinbare Oberfläche also kaum den zehnten Teil der Oberfläche des Vollmondes beträgt.

— — Who can satiate sight
In such a scene, where depth, height, breadth
Are lost in their extremes, and where, to count
The thick-sown glories in this ocean of Suns,
Perhaps a Seraph's computation fails.

Young.

Gegen die Mitte der Gruppen nimmt die Helle derselben meistens stufenweise zu, und zwar so stark, daß diese Centralhelle nicht bloß optisch ist, wie sie auch jede andere, aus völlig gleich weit abstehenden Sternen gebildete Kugel zeigen würde, sondern physisch, dadurch bewirkt, daß die Sterne gegen den Mittelpunkt der Kugel in der That näher aneinanderrücken. Die scharfe Begrenzung und die auffallende Symmetrie des inneren Baues dieser wundervollen Gebilde zeigen, daß sie in sich selbst abgeschlossen sind, umschlungen von einem eigenen gemeinsamen Bande des Zusammenhanges, dessen Wesen uns aber wohl für immer unbekannt bleiben wird.

Einige der ausgezeichnetsten dieser Gruppen, von denen man mehrere schon mit mäßigen Fernrohren erkennen kann, sind die folgenden:

AR = 102° 19′, D = + 18° 8′, in den Zwillingen. Eine große, unregelmäßige, fächerartig ausgebreitete Sterngruppe. Gegen die Spitze nimmt sie rasch an Licht zu, und an dem der Spitze gegenüberliegenden Rande erscheint sie zerrissen und schlecht begrenzt. Länge und Breite des Ganzen 5′ bis 6′. Siehe Atlas d. gest. H., Fig. 11.

AR = 128° 17′, D = − 29° 35′, im Schiff Argo. Ein feiner Sternhaufen von 6′ Diameter nahe von der Gestalt eines X, aus Sternen der 10. bis 12. Größe.

AR = 130° 26′, D = + 12° 58′, im Krebs. Eine schöne Gruppe von Sternen 9. bis 10. Größe, die sehr regelmäßig um einen Centralstern angeordnet sind.

AR = 197° 0′, D = + 18° 42′, im Haupthaar der Berenice. Eine sehr schöne und stark gedrängte Gruppe von ungemein kleinen Sternen mit zerstreuten Sternen bis zu einer bedeutenden Distanz. Die Mitte ist sehr hell, und gegen den Rand hin läuft die Gruppe in krummlinige Zacken aus. Durchmesser 5′.

AR = 204° 23′, D = + 28° 53′, im südlichen Jagdhunde. Ein sehr interessantes Objekt von 6′ Durchmesser. Es enthält wenigstens 1000 Sterne der 10. Größe und darunter, die eine helle Stelle gegen den Mittelpunkt bilden, aus welchem gleichsam Lichtstrahlen gegen den Umkreis strömen.

AR = 210° 14′, D = + 29° 0′, im Bootes. Sehr große, reiche, runde Gruppe von 8′ bis 10′ Diameter. Die Sterne sind der 11. bis 14. Größe, und gegen die Mitte der Gruppe so zusammengedrängt, daß sie nur für starke Fernrohre einzeln zu erkennen sind.

AR = 228° 22′, D = + 2° 28′, in der Wage. Sehr schöne und gedrängte kugelförmige Gruppe. Die Beleuchtung derselben wächst stark gegen die Mitte, wo die Sterne nicht mehr getrennt werden können. Der Durchmesser des Ganzen ist 2·5′. Die Nachbarschaft um diese Gruppe ist sternleer. Siehe Atlas d. g. H., Fig. 9.

AR = 233° 9′, D = + 6° 19′, in der Schlange. Feine, runde Sterngruppe, gegen die Mitte stufenweise heller. 2′ Durchmesser. Ungemein schwer aufzulösen. Siehe Atlas d. g. H., Fig. 10.

AR = 249° 31′, D = + 36° 39′, im Herkules. Sehr reiche Sterngruppe von mehreren tausend Sternen der 9. bis 12. Größe, fast bis zur Mitte auflösbar und am Rande in Strahlen auslaufend, besonders gegen Südost. Durchmesser 7′ bis 8′. Diese Gruppe, einer der prachtvollsten Gegenstände am Himmel, eben noch mit freiem Auge als mattes Wölkchen zu erkennen, wurde von Halley 1714 entdeckt und wird von Messier noch als Nebel ohne Sterne beschrieben. Sie steht zwischen η und ζ Herkules und ist Atlas d. g. H., Fig. 7 abgebildet, und zwar so, wie man sich eigentlich Darstellungen dieser Art immer zu denken hat, nämlich licht auf dunklem Hintergrunde.

AR = 252° 59′, D = − 3° 56′, im Schlangenträger. Eine runde Gruppe von zerstreut stehenden Sternen, 10′ im Durchmesser, ohne eigentlichen Kern.

AR = 258° 19′, D = − 18° 26′, im Schlangenträger. Ein runder, allmählich gegen die Mitte heller werdender Nebel von 3′ bis 4′ Diameter. In starken Fernrohren in Myriaden ausnehmend kleiner Sternchen auflösbar.

AR = 267° 45′, D = − 19° 0′, im Schlangenträger. Große, reiche, nicht sehr gedrängte Gruppe von 60 bis 80 Sternen der 9. bis 12. Größe die größtenteils auf regelmäßigen krummen Linien zu liegen scheinen.

AR = 269° 23′, D = − 24° 23′, im Schützen. Prächtige, sehr unregelmäßig gestaltete Gruppe, 30′ lang mit einem Sterne 7. Größe. (9 Schütze.) Entdeckt von Le Gentil 1748.

AR = 277° 35′, D = − 24° 0′, im Schützen. Sehr schöne, kugelförmige Gruppe, allmählich heller gegen die Mitte, aber ohne eigentlichen Kern. Die Sterne der 11. bis 15. Größe scheinen durchaus gleich verteilt und die Grenze des Ganzen verwaschen. Entdeckt 1655 von Abraham Ihle.

AR = 281° 26′, D = − 6° 24′, im Schilde des Sobieski. Schöne, aber unregelmäßige Gruppe von 10′ bis 12′ Durchmesser. Die Sterne alle der 11. Größe, mit einem helleren 8. bis 9. in der Mitte. Das ganze Bild scheint in 5 oder 6 verschiedene Gruppen gebrochen zu sein. Wurde schon 1681 von Kirch entdeckt.

AR = 288° 10′, D = + 29° 59′, in der Leier. Reiche, sehr gedrängte Gruppe, gegen die Mitte sehr hell, hat nahe die Gestalt eines Dreiecks. Der größte Durchmesser beträgt 3′. Die Sterne sind von der 11. bis 12. Größe.

AR = 291° 41′, D = + 9° 1′, im Adler. Sehr reich und gedrängt. Durchmesser 40″.

AR = 311° 59,′ D = − 12° 55′, im Steinbock. Runde, gegen die Mitte ziemlich helle Sterngruppe von 2′ Durchmesser.

AR = 321° 16′, D = + 11° 43′, im Pegasus. Groß, licht, unregelmäßig rund, gegen die Mitte heller, als wenn hier die Gruppe eine wulstige Erhöhung hätte. Aus dem Mittelpunkte scheinen Lichtstreifen gegen die Peripherie zu gehen. Steht in einer sehr sternleeren Gegend und wurde 1746 von Maraldi aufgefunden.

AR = 322° 4′, D = − 1° 16′, im Wassermann. Schön, groß, rund, auflösbar. Gegen die Mitte sehr hell, gleichsam flammend, obschon hier die Sterne nicht dichter stehen. Der Anblick der Gruppe gleicht dem eines Haufens Goldsand. Der hellste Teil des Ganzen hat 1·5′ im Durchmesser, und das Licht desselben gleicht dem eines Sternes der 6. Größe. Siehe Atlas d. g. H., Fig. 8. Endeckt von Maraldi 1746.

AR = 358° 0′, D = + 56° 10′, in der Kassiopeja. Sehr schöne, große, runde Gruppe, reich an dicht gedrängten Sternen der 10. bis 14. Größe. Das Ganze wird allmählich heller gegen die Mitte, aber ohne Verdichtung zu einem eigentlichen Kern. Durchmesser 15′. Entdeckt von Karoline Herschel 1783.

Von denjenigen Gruppen, die einen ausgezeichnet gefärbten Stern in ihrer Mitte haben, kann man bemerken:

AR = 33° 51′, D = + 56° 38′, χ Perseus, bereits oben erwähnt.

AR = 78° 18′, D = + 39° 14′, im Fuhrmanne. Eine reiche Sterngruppe mit einem orangefarbigen Sterne der 7. Größe.

AR = 321° 46′, D = + 51° 9′, im Schwan. Schöne, nicht sehr gedrängte Gruppe von Sternen der 13. bis 15. Größe, 8′ Durchmesser. In der Mitte ein rötlicher Stern der 10. Größe.

AR = 325° 11′, D = + 53° 14′, im Schwan. Ein sehr merkwürdiger Gegenstand, nämlich ein ovaler Ring von kleinen, nahe aneinander stehenden Sternen gebildet, 4′ Durchmesser; in der Mitte des Ringes ein Stern der 9. bis 10. Größe von rubinroter Farbe.

Hier kann man auch den prachtvollen kugelförmigen, an äußerst feinen Sternen ungemein reichen Sternhaufen AR = 242° 47′, D = − 22° 44′ anreihen, in dessen Inneren Mitte Mai 1860 ein neuer Stern aufleuchtete, und an dessen Grenzen sich 2 Veränderliche vorfinden (§ 198 Nr. 71).

Gruppen mit Doppelsternen in ihrer Mitte finden sich ebenfalls mehrere am Himmel, z. B.:

AR = 38° 54′, D = + 42° 21′, im Perseus. Eine schöne Gruppe von

nahe 20 Sternen der 9. bis 10. Größe und vielen anderen kleineren. In der Mitte derselben ein Doppelstern.

AR = 75° 19′, D = + 36° 55′ im Fuhrmann. Gedrängte Gruppe von 20 bis 30 Sternen mit einem Doppelstern.

AR = 101° 40′, D = + 0° 35′, im Einhorn. Eine reiche, gleichsam in 3 Äste gespaltene Gruppe von 20′ Durchmesser, in deren Hauptstelle ein Doppelstern.

AR = 122° 12′, D = − 5° 30′, im Einhorn. Schöne, große, reiche Gruppe von Sternen der 9. bis 12. Größe, zwischen welchen aber der Hintergrund des Himmels mit unzähligen kleinen lichten Punkten wie besäet erscheint. In der Mitte ein Doppelstern.

AR = 300° 32′, D = + 35° 30′, im Schwan. In einer Gruppe von 5 hellen und vielen anderen kleineren Sternen steht ein Doppelstern.

AR = 300° 58′, D = + 20° 49′, im Fuchs. Eine Gruppe von vielen Sternen der 9. bis 12. Größe. Der größte unter ihnen ist ein Doppelstern.

AR = 316° 1′, D = + 50° 26′, im Schwan. Eine sonderbar zerstreute Gruppe, in welcher mehrere dreifache Sterne.

AR = 358° 0′, D = + 60° 40′, im Cepheus. Sehr reiche Gruppe von 4′ Durchmesser. Die Sterne sind der 11. bis 12. Größe. Einer unter ihnen ist ein Doppelstern.

Hierher gehören auch die bereits erwähnten Gruppen des Wehrgehänges im Perseus und die Krippe im Krebs, in deren Mitte ebenfalls ein Doppelstern steht.

Die angeführten Doppelsterne sind meistens, aber nicht immer, in der Mitte der ganzen Gruppe und gewöhnlich größer als alle übrigen Sterne. Doch trifft man auch zuweilen andere Gruppen, in welchen die kleinen, oft sehr dicht stehenden Sterne um einen großen lichten Zentralstern gelagert und gleichsam angereiht sind, wie z. B. bei AR = 130° 26′, D = + 12° 58′, im Krebs.

Einer dreieckigen Gruppe haben wir schon erwähnt. Eine andere von derselben Gestalt findet man bei AR = 0° 1′, D = − 21° 16′, im Walfisch, die aus etwa 12 Sternen zusammengesetzt ist. Auch eine viereckige Gruppe sieht man bei AR = 291° 34′, D = + 20° 4′, im Fuchs; sie ist 4′ lang, 1·5′ breit und besteht aus sehr gedrängten Sternen der 12. bis 14. Größe.

Bei AR = 346° 47′, D = + 60° 2′, in der Kassiopeja, sieht man eine helle Gruppe, die aus 2 geraden Linien von dicht aneinander gestellten Sternen besteht, zwischen welchen mehrere andere kleinere zerstreut sind. Überhaupt trifft man in diesen Sterngruppen nicht selten eine so regelmäßige Gruppierung der helleren Sterne an, daß man sie unmöglich für zufällig halten kann. Besonders verdient die manchmal deutlich hervortretende Anordnung der Sterne in krummen Linien, die einander spiralförmig umwinden und meist mit einem helleren Sterne beginnen und schließen, hervorgehoben zu werden, weil solche Sternhaufen ein

interessantes Prototyp der von Rosse entdeckten Spiralnebel (§ 209) bilden. Ein Beispiel hierfür bietet uns der bereits oben angeführte Sternhaufen. AR = 267° 45′, D = − 19° 0′, im Schlangenträger.

Ebenso auffallend zeigt auch eine spiralige Struktur die schöne sternreiche Gruppe AR = 90° 40′, D = + 24° 21′, in den Zwillingen.

§ 203. (Große, blasse, weit verbreitete Nebel.) Es wurde bereits oben bemerkt, daß viele Sterngruppen, durch mäßige Fernrohre gesehen, nur wie mehr oder weniger lichte Nebel erscheinen und erst durch stärkere Instrumente in die einzelnen Sterne aufgelöst werden, aus welchen sie in der That zusammengesetzt sind. Wahrscheinlich ist dies auch der Fall mit den meisten derjenigen Himmelskörper, die uns, selbst durch unsere besten Teleskope gesehen, immer noch als Nebel erscheinen, da jeder bedeutende Fortschritt der Optik bisher stets die Anzahl der früher bekannten unauflösbaren Nebel verringert hat. Diese wären dann nur wieder als eigentliche Sterngruppen zu betrachten, deren Sterne aber entweder zu klein oder zu lichtschwach oder endlich zu weit von uns entfernt sind, um noch deutlich unterschieden zu werden. Doch sind gewiß unter diesen wundervollen Wesen des Himmels auch viele, welche nicht bloß aus eigentlichen Sternen zusammengesetzt sind: Wesen eigener Art, die als wahre Lichtnebel für sich bestehen und keineswegs nur optisch sich so darstellen.

Dazu gehören vor allem einzelne ausgedehnte Gegenden des Himmels von mehreren Quadratgraden, die völlig mit Nebelmasse überzogen sind. Diese Gegenden zeichnen sich nicht nur durch ihr helleres Licht vor dem übrigen dunklen Grunde des Himmels, sondern auch durch ein eigenes schuppen- oder flockenartiges Ansehen aus, sind aber gewöhnlich so lichtschwach und an ihren Grenzen überdies so unbestimmt und verwaschen, daß man sie nur schwer erkennt. Bei den nachstehenden ist die Ausdehnung in Quadratgraden angegeben, wobei man bemerken kann, daß die Oberfläche der Sonne oder des Mondes für uns nahe den vierten Teil eines Quadratgrades beträgt. Wenn es daher von einem solchen Nebel heißt, daß er 5 Quadratgrade einnimmt, so bedeutet dies, daß er in seiner Oberfläche 20mal größer als die Sonne erscheint. Ein Nebel von 8 Quadratgraden wird ebenso eine 32mal größere scheinbare Fläche haben als die Sonne. Wenn also in dem letzten Falle ein solcher Himmelskörper auch nur eine Sternweite, d. h. wenn er 31 Billionen km (§ 175) von uns entfernt ist, so wird der wahre Durchmesser desselben schon 1·7 Billionen km betragen, also 300mal größer sein als der Durchmesser der ganzen Uranusbahn, der 5700 Millionen km beträgt — eine Ausdehnung, von welcher auch die lebhafteste Phantasie sich keinen angemessenen Begriff mehr zu machen imstande ist.

	AR	Dekl.	Quadratgrade
In den Fischen. . .	4° 15′	+ 4° 0′	7·6
In der Andromeda .	10 0	+ 43 21	8·6
Im Fuhrmann. . .	79 0	+ 25 0	3·4

	AR	Dekl.	Quadratgrade
Im Orion	82° 35′	− 4° 34′	4·6
Im Bootes	210 5	+34 1	1·6
Im Wassermann . .	311 25	− 2 23	4·1

Die obigen Nebel sind keineswegs alle bekannten Gebilde dieser Art, sondern nur die größten, die bereits W. Herschel aufgefunden, der außer diesen schon von solchen noch so viele kleinere kannte, daß er den Flächenraum, den sie, in eine Summe gebracht, am Himmel einnehmen würden, auf 200 Quadratgrade schätzt. Die seitherigen Fortschritte der Optik, noch mehr aber photographische Aufnahmen des Himmels mit Expositionszeiten von mehreren Stunden haben in der jüngsten Zeit noch weit ausgedehntere Nebel auffinden lassen. So ist es kaum mehr zweifelhaft, daß ein großer Teil des Sternbildes Orion, im Anschlusse an den hellen Nebel bei dem Sterne ϑ mit einem blassen Nebelschleier überzogen ist; ebenso befindet sich nach Barnard, abgesehen von einzelnen Nebelflocken, die bereits seit längerer Zeit innerhalb der Plejadengruppe und in ihrer unmittelbaren Nachbarschaft aufgefunden worden waren, nördlich von ihr noch eine ausgedehnte Nebelmasse. Derselbe Forscher hat auch bei ϱ Schlangenträger einen mächtigen Nebel aufgedeckt, welcher Antares und σ Skorpion noch einschließt. Außerdem hat Max Wolf in der Kassiopeja mehrere ausgedehnte Nebelflecke nachgewiesen und gezeigt, daß in den sternreichen Regionen dieses Sternbildes große Flächen des Himmels mit feiner Nebelmasse erfüllt sind, während Scheiner zeigte, daß auch ein matter Nebel (AR = 69° 14′ D = + 46° 8′) bei ξ Perseus eine Ausdehnung von mehreren Graden besitzt, u. s. w., so daß die Menge des im Weltraume zerstreuten blassen, diffusen Nebels an das Ungeheure zu grenzen scheint.

Außer den eben beschriebenen, in allen ihren Teilen sehr blassen Nebeln kommen auch solche vor, in denen man auffallend hellere Stellen bemerkt, die man sehr passend als Lichtknoten bezeichnet. Diese Lichtknoten sind häufig nahe kreisrund, besonders in jenen Fällen, wo das Licht derselben gegen ihren Mittelpunkt hin schnell an Intensität zunimmt. Übrigens findet man öfters auch mehrere den Lichtknoten sehr ähnliche Nebel, wohl vollständig von einander getrennt, aber doch in unmittelbarer Nähe nebeneinander vor. So enthält ein Raum von einem Viertel-Quadratgrad bei AR = + 193° 40′, D = + 28° 30′ im Haupthaar der Berenice 8, bei AR = 19° 31′, D = + 32° 46′ in der Andromeda 7, bei AR = 179° 46′, D = + 20° 53′ im Löwen 6 Nebel u. s. f., während Beispiele, wo innerhalb eines solchen Raumes 4 bis 5 eingeschlossen sind, keineswegs zu den Seltenheiten gehören. Es liegt nun die Vermutung nahe, daß wenigstens einzelne solcher Gruppen die Lichtknoten ausgedehnter Nebel seien, deren andere Partien uns wegen ihrer Lichtschwäche noch verborgen geblieben sind. Bemerkenswert ist es auch, daß man im Sternbilde der Jungfrau ganze Herden solcher Kernnebel, wenn man so sagen darf, am Himmel antrifft, indem Herschel oft in einer halben Stunde über 30 durch das Feld seines unverrückten Teleskopes

ziehen sah, so daß es andrerseits fast den Anschein hat, als ob sie aus den größeren Nebeln durch Zerreißung, durch Trennung oder durch eine teilweise Kondensation des Nebelstoffes entstanden wären. Ja, es ist das Sternbild der Jungfrau eigentlich nur der Ausgangspunkt eines großen Lagers solcher Kernnebel, welches durch das Haar der Berenice, den großen Bären, die Andromeda und den nördlichen Fisch bis zum Kopfe des Centaurs geht und in dieser ganzen gewaltigen Ausdehnung überall reich an Nebeln ist.

§ 204. (Nebel von regelmäßiger Gestalt.) Regelmäßig geformte Nebel sind fast durchaus entweder nahe kreisrund oder elliptisch gestaltet. Jene haben meistens einen hellen Kern in der Mitte, dessen Umfang mit dem des ganzen Nebels konzentrisch ist, und sind im allgemeinen weit leichter auflösbar als diese. Beide zeichnen sich vor den vorhergehenden durch ihre hellere Farbe und durch ihre kleineren Dimensionen aus. Solche Nebel findet man:

AR = 19° 54′, D = + 9° 1′, in den Fischen. Sehr hell, rund und gegen die Mitte ziemlich rasch an Licht zunehmend. Diameter 1′.

AR = 129° 5′, D = + 50° 34′, im großen Bären. Elliptischer Nebel, ziemlich hell und schmal, plötzlich hell in der Mitte, 30″ lang, 20″ breit.

AR = 146° 50′, D = + 69° 32′, im großen Bären. Ein schöner, elliptischer, sehr breiter Nebel, mit schwachen Strahlen am Rande, von wo er anfangs langsam, dann gegen die Mitte zu außerordentlich rasch an Helligkeit zunimmt. Der dichteste Teil hat 4′ Länge und 3′ Breite. Er wurde 1774 von Bode aufgefunden. Etwa 0·5° nördlicher steht noch ein ähnlicher, aber kleinerer und schwächerer.

AR = 176° 54′, D = + 44° 41′, im großen Bären. Ein ausgezeichnet schöner, heller, runder Nebel von 3′ bis 4′ Diameter, stufenweise heller gegen die Mitte, am Rande sehr verwaschen.

AR = 271° 49′, D = + 6° 49′, im Schlangenträger. Ein herrlicher, runder, vollkommen scharf begrenzter Nebel. Er ist sehr hell und gleicht einem Sterne 8.—9. Größe. Sein Licht ist blaß und trübe, aber sternartig. Schon im Zwielichte sichtbar. Diameter 8″.

AR = 338° 7′, D = + 33° 54′, im Pegasus. Sehr hell, elliptisch, ziemlich breit, rasch hell gegen die Mitte, 90″ lang 30″ breit. Hart an ihm ein anderer schwacher Nebel von 16″ Diameter.

§ 205. (Doppelnebel.) Wie oben bei den Fixsternen, so sehen wir auch hier bei den Nebeln zu häufig 2 derselben so nahe beieinander stehen, als daß wir an ihrem Zusammengehören, an ihrer innigen Verbindung zweifeln könnten. Auch sieht man sie öfter durch Nebelbänder miteinander unmittelbar verbunden, während einige an ihren nächsten Grenzen ineinanderfließen, oder während der eine derselben an seinem Rande eine Vertiefung, eine Bucht zeigt, in welche die gegenüberstehende Hervorragung des anderen der Größe und Form nach genau zu passen scheint, u. s. w. Bei mehreren von diesen Nebeln haben die kräftigen

Fernrohre von Rosse die physische Verbindung auch dadurch erwiesen, daß sie eine beide einhüllende, äußerst schwache Nebelmasse zum Vorschein brachten, die häufig durch ihre Gestalt eine Beziehung auf die eigentlichen Nebel als Mittelpunkte verrät. Solche Nebel sind:

AR = 109° 49′, D = + 29° 41′, in den Zwillingen. Die Kerne der beiden sich berührenden Nebel sind so hell, daß sie beinahe sternartig glänzen. Distanz der Kerne 30″. Die Helligkeit nimmt gegen den Rand sehr rasch ab. Rosse sieht einen kleinen Stern zwischen beiden Nebelkernen, den Nebel strahlenförmig auslaufend und gleichsam von Segmenten einer zweiten Nebelhülle umschlossen. Siehe Atlas, d. g. H. Fig. 31, 32.

AR = 179° 12′, D = − 18° 19′, im Becher. Zwei runde, ineinanderfließende Nebel, die beide gegen ihre Mitte viel heller sind.

AR = 185° 15′, D = + 34° 4′, in den Jagdhunden. Nahe wie der vorhergehende, nur größer. Das Ganze der beiden Nebel ist 10′ lang und 3′ breit. In der Nähe noch zwei Nebel, die mit diesen ein Trapez bilden.

AR = 187° 52′, D = + 11° 48′, im Haupthaar der Berenice. Ein sehr schöner Doppelnebel; beide sind hell, rund und gegen die Mitte lichter. Ihre Durchmesser sind 45″ und 60″.

AR = 189° 46′, D = + 32° 43′, in den Jagdhunden. Zwei elliptische, an ihren Enden zugespitzte Nebel. Die beiden Ellipsen stehen in einem dieser Endpunkte aufeinander senkrecht. Die größere ist heller, und in beiden nimmt das Licht gegen den Mittelpunkt bedeutend zu. Siehe Atlas d. g. H., Fig. 35.

AR = 225° 44′, D = + 19° 57′, im Bootes. Beide Nebel sind elliptisch, grenzen beinahe aneinander, und ihre großen Achsen bilden fast eine grade Linie.

§ 206. (Planetarische und ringförmige Nebel.) Die planetarischen Nebel erscheinen uns, wie die Planeten, als kreisrunde, nur selten etwas ovale, scharf begrenzte Scheiben, die durchaus dasselbe gleich starke Licht haben, ohne gegen ihren Mittelpunkt an Helle zuzunehmen. Zuweilen jedoch ist auch ihr Umkreis noch mit einem konzentrischen nebeligen Rande, gleich einer ringförmigen Atmosphäre, umgeben. Die Oberfläche dieser Körper ist mit einem leicht schuppigen oder flockigen Lichte überzogen, wodurch aber das Charakteristische ihres Anblickes, die Gleichförmigkeit der Beleuchtung aller ihrer Teile, nicht wesentlich gestört wird. Der Mangel jeder Zunahme des Lichtes gegen ein Zentrum, welche bei kugelförmiger Anordnung aus optischen Gründen entstehen müßte, läßt vermuten, daß sie hohle Kugelschalen oder platte Scheiben sind. Das erstere insbesondere mag auch bei manchen in der That der Fall sein; indes hat der Riesenreflektor von Rosse bei vielen planetarischen Nebeln die scheinbare Regelmäßigkeit und vorzüglich die Gleichförmigkeit der Beleuchtung verwischt, indem sich zeigte, daß es eigentlich ringförmige Nebel seien, mit einer Höhlung in Innern, in der oft ein sternartiges Gebilde sich befindet, und daß diese Höhlung ihrer Kleinheit wegen bei schwächeren Vergrößerungen verschwindet. Ein Beispiel hierfür ist der im Atlas

d. g. H., Fig. 44 abgebildete planetarische Nebel, den Rosse ringförmig sieht, beiläufig so, wie der Ringnebel in der Leier (Taf. XIII.) mit mäßig starken Fernrohren betrachtet erscheint, welcher bei schwachen Vergrößerungen auch das Aussehen eines planetarischen Nebels annimmt. Häufig sieht man diese Nebel von kleinen, ihnen sehr nahe stehenden Fixsternen umgeben. Auffallend ist auch die häufig blaue Farbe, welche, ohne komplementär zu sein, bei Fixsternen sonst so selten ist. Künftige Beobachtungen werden uns diese wunderbaren Wesen erst näher kennen lehren.

AR = 34° 5′, D = + 41° 54′, in der Andromeda. Ein sehr feiner, stark elliptischer Nebelstrahl von 4′ Länge und 40″ Breite. In der Mitte desselben bemerkt man eine längliche dunkle Stelle und in derselben zwei kleine Sterne. Wahrscheinlich ist diese Stelle eine Öffnung des Ringes, dessen Ebene sehr schief gegen die Sonne liegt, daher er mehr unter der Gestalt eines elliptischen Streifens erscheint. Atlas, Fig. 37.

AR = 84° 9′, D = + 9° 2′, im Orion. Ein planetarischer Nebel von 12″ Diameter, etwas elliptisch, nicht scharf begrenzt.

AR = 114° 19′, D = − 14° 30′, im Schiff Argo. Planetarischer Nebel von 56″ Diameter, vollkommen rund, mit einem sehr kleinen Sterne etwas nördlich vom Mittelpunkte. Der Nebel steht am nördlichen Ende eines schönen Sternhaufens.

AR = 167° 14′, D = + 55° 33′, bei β großer Bär. Der größte planetarische Nebel. Eine ausgedehnte, gleichförmig erleuchtete, neblige Scheibe von fast 3′ Diameter, vollkommen rund, sehr hell, nicht scharf begrenzt, nahe am Rande plötzlich an Licht abnehmend. Rosse sieht ihn in Nebelstrahlen ausgehen, erkennt im Innern zwei dunkle Flecken mit lichten Mittelpunkten; der ganze Nebel erscheint ihm ungleichförmig erleuchtet.

AR = 191° 37′, D = + 73° 25′, im Drachen. Ziemlich matt, rund, 40″ Diameter. Der mittlere Teil von etwa 30″ Diameter ist ganz gleichförmig hell.

AR = 282° 27′ D = + 32° 54′; der schöne Ringnebel im Sternbilde der Leier, der einzige Gegenstand dieser Art, welcher schon mit mäßigen Fernrohren das Charakteristische dieser Gruppe von Nebelflecken erkennen läßt (Taf. XIII oben, Karton rechts). Er steht zwischen den großen Sternen β und γ der Leier. Der äußere Durchmesser des Ringes beträgt 1′. Die innere Öffnung desselben ist in einem starken Fernrohre gesehen nicht ganz so dunkel wie der äußere Hintergrund des Himmels, sondern selbst wieder von einem anderen, schwächeren Nebel erfüllt. (Taf. XIII.) Das Ganze hat das Ansehen eines über einen Reifen gespannten Schleiers. Lord Rosse, Secchi und Chacornac glaubten, dieser Nebel sei in Sterne auflösbar, aber mit Unrecht, indem sein Spektrum bloß aus einzelnen hellen Linien besteht, also das charakteristische Spektrum leuchtender Gase zeigt. In der Nähe des Centrums hat man seit dem Anfange unseres Jahrhunderts mehrmals ein feines Sternchen bemerkt, das zu anderen Zeiten

in viel stärkeren Instrumenten nicht wahrgenommen wurde, also wohl variabel ist. Es erschien im Jahre 1886 auch auf einer photographischen Aufnahme des Ringnebels durch E. v. Gotthard und hat sich seither wiederholt auf photographischen Platten bei mehrstündiger Exposition abgebildet. Dabei machte man die interessante Bemerkung, daß nicht nur dieses Sternchen, sondern auch der Nebelschleier im Innern des Ringes auf den Photographien viel heller hervortreten, als beim gewöhnlichen Sehen, — ein Zeichen, daß die inneren Partieen dieses Gebildes reicher an chemischen Strahlen sind, als die äußeren.

AR = 294° 35′, D = − 14° 23′, im Schützen. Planetarischer Nebel, hell, vollkommen rund, an Licht gleich einem Sterne 9. Größe, Diameter 10″. Das nahe gleichförmige Licht desselben ist von sonderbarem Aussehen und nicht sternartig. Sehr nahe bei diesem Nebel stehen zwei Sternchen. Siehe Atlas d. g. H., Fig. 43. Secchi hält diesen Nebel für in Sterne auflöslich.

AR = 303° 6′, D = + 30° 16′, im Schwan. Einer der größten planetarischen Nebel, rund, ein klein wenig elliptisch, sehr scharf begrenzt, aber gegen den Rand hin entschieden heller als in der Mitte. Dies läßt ihn ringförmig erscheinen, ähnlich dem bekannten Ringnebel in der Leier.

AR = 304° 28′, D = + 19° 47′, im Fuchs. Feiner, planetarischer Nebel, hell, vollkommen rund, etwas verwaschen am Rande, aber nicht bedeutend heller gegen die Mitte; Diameter 20″ bis 30″. In der Nähe sind vier kleine Sterne.

AR = 314° 41′, D = − 11° 46′, bei ν Wassermann. Feiner, planetarischer Nebel, hell, vollkommen rund, bläulich gefärbt und durchaus gleichförmig licht, nur etwas schwächer am Rande. Rosse sieht von ihm zwei einander diametral entgegenstehende Spitzen auslaufen und den Nebel strahlenförmig begrenzt. Siehe Atlas d. g. H. Fig. 29, 30. Lassell erkannte auf Malta mit starken Vergrößerungen im Innern einen hellen elliptischen Ring, scharf begrenzt, ohne Zusammenhang mit dem umgebenden Nebel und durchaus von ziemlich gleicher Breite. Die Ebene des Ringes scheint also nahe senkrecht auf unserer Gesichtslinie zu stehen. Im Mittelpunkte des Ringes zeigt sich ein heller Stern. Das Ganze mahnt an ein dichtes Gedränge von Lichtpunkten wie etwa die Milchstraße. Die große Achse der Ellipse des Ringes beträgt 26″, die kleine 17″.

AR = 350° 16′, D = + 41° 59′, in der Andromeda. Ein planetarischer, ganz runder Nebel von 15″ Diameter. Sein Licht erscheint nicht sowohl nebelartig, sondern wie ein Stern außer dem Brennpunkte des Fernrohres. Die Farbe des Lichtes ist weißblau, und in der Nähe des Nebels befindet sich ein Doppelstern. Siehe Atlas d. g. H., Fig. 44. Rosse sieht ihn ringförmig, mit schwachem Halo umgeben.

Nahe verwandt mit dieser Kategorie von Nebeln sind wohl auch jene, die in ihrem Inneren dunkle Stellen haben, welche Öffnungen oder wahrscheinlich weniger sternreiche Partieen des Nebels sind. Dazu gehören:

AR = 188° 42′, D = − 11° 3′ in der Jungfrau. Ein heller elliptisch gebauter Nebel, 5′ lang, 0·5′ breit. Der lichtere Kern scheint von dem eigentlichen Nebel gesondert zu liegen, da er von ihm durch eine dunkle Kluft getrennt ist. Über das ganze sonderbare Gebilde ist ein elliptisch geformter Nebel feinerer Art verbreitet.

AR = 269° 4′, D = − 23° 2′, im Schützen. Ein gabelförmig dreigespaltener Nebel (trifid) mit einem dreifachen Stern in seiner Hauptstelle, neben welchem eine dunkle, unregelmäßige Öffnung. Atlas, Fig. 38.

§ 207. (Sternnebel.) Unter dieser Benennung versteht man eigentliche, hell glänzende Fixsterne, die aber mit kreis- oder kugelförmigen Nebeln umgeben sind. Rosse hat übrigens bei einigen dieser Gebilde nachgewiesen, daß der als Fixstern erscheinende Kern ein Konglomerat von ungemein vielen enorm zusammengedrängten Sternen sei und nur wegen seiner Kleinheit, selbst bei starken Vergrößerungen, noch das fixsternartige Aussehen beibehalte.

AR = 1° 55′, D = + 71° 58′, im Cepheus. Ein Stern 10. Größe, mit einer runden, gut begrenzten Lichtsphäre von 15″ Durchmesser.

AR = 60° 45′, D = + 30° 31′, im Stier. Ein Stern 8. bis 9. Größe, mit einer schwachen Nebelsphäre von etwa 25″ Durchmesser. Mehrere sehr nahe liegende Sterne sind ganz nebelfrei. Siehe Atlas d. g. H., Fig. 13.

AR = 82° 47′, D = − 1° 16′, ε Orion. Ein schöner Fixstern, in einen sehr großen Nebel eingehüllt.

AR = 96° 48′, D = + 10° 14′, in den Zwillingen. Ein Stern 11. Größe, umgeben von einem runden, milchigen Nebel, dessen Rand verwaschen. Das Licht des Sternes selbst ist trüb. Diameter des Nebels 70″ bis 80″.

AR = 110° 49′, D = + 21° 7′, in den Zwillingen. Ein Stern 8. Größe, ziemlich in der Mitte eines runden, lichten Nebels von 12″ Durchmesser. Rosse sieht ihn durch sein Riesenteleskop ringförmig und strahlenartig begrenzt.

AR = 132° 20′, D = − 2° 41′, in der Wasserschlange. Ein elliptischer, an beiden Enden sehr zugespitzter Nebel; in jeder Spitze ein kleiner Stern, der eine 9., der andere 13. Größe. Siehe Atlas d. g. H., Fig. 26.

AR = 154° 55′, D = + 17° 40′, im großen Löwen. Ein Stern 9. Größe, mit einem elliptischen Nebel. Der Stern ist nicht im Mittelpunkte des Nebels.

AR = 158° 8′, D = + 54° 2′, südlich von β im großen Bären. Ein runder, heller, gegen die Mitte an Licht stark zunehmender Nebel. Der Durchmesser der ganzen Nebelhülle beträgt nahe 1′, der des runden, lichten Kernes aber 15″. Siehe Atlas d. g. H., Fig. 12.

AR = 171° 59′, D = + 47° 36′, im großen Bären. Ein langer, heller, elliptisch gebauter Sternnebel. Vom Rande gegen den Mittelpunkt nimmt die Helligkeit anfangs nur langsam, aber näher gegen die Mitte sehr schnell zu. Im Mittelpunkte selbst ist ein Stern 13. Größe. Die scheinbare Länge des ganzen Bildes beträgt 4′, die Breite 2′. Ein Stern 10. Größe am nördlichen Ende.

AR = 185° 3′, D = + 5° 29′, in der Jungfrau. Ein Stern 9. Größe, von einer hellen, runden Lichtsphäre umgeben. Schon im Zwielichte sichtbar.

AR = 188° 8′, D = + 12° 20′, in der Jungfrau. Ein heller Stern 9. Größe mit mehreren kleineren, alle in einen feinen Nebel eingehüllt.

AR = 191° 22′, D = + 26° 3′, im Haupthaar der Berenice. Ein Stern oder doch ein sehr kleiner und hell glänzender Kern in einer großen ovalen Lichtsphäre; letztere ist 4′ lang und 3′ breit.

AR = 349° 6′, D = + 60° 38′, im Cepheus. Ein Stern 9. Größe, von einem runden, lichtschwachen Nebel umgeben.

Mehrere von den hieher gehörenden, meist runden oder elliptischen Nebeln erscheinen auch als Hüllen von doppelten und dreifachen Sternen. Öfter sieht man auch 4, 5 und mehr zerstreute Sterne., sämtlich in einen Nebel eingehüllt, ja sogar eigentliche runde Sterngruppen findet man zuweilen von einem kugelförmigen Nebel umschlossen. Oft zieht dieser Nebel wie ein schmales, langes Band über mehrere Sterne hin und verbindet sie zu einem gemeinschaftlichen Ganzen. Zuweilen stehen 2 helle Sterne an den beiden Scheiteln oder auch nahe bei den Brennpunkten eines elliptischen Nebels. In den meisten Fällen zeigt schon der bloße Anblick dieser sonderbaren Gebilde, daß Nebel und Sterne zusammengehören und gleichsam ein abgeschlossenes System für sich bilden. Wo die Sterne in der Mitte eines abgerundeten Nebels liegen, kann diese innigere Verbindung beider Gegenstände wohl nicht bezweifelt werden; aber auch dann, wenn die Sterne von den Nebeln abgesondert stehen, ist doch ihre Stellung oft so auffallend, daß sie nicht ohne die größte Unwahrscheinlichkeit dem bloßen Zufalle oder einer optischen Täuschung zugeschrieben werden kann. Hier folgen einige Objekte, die mit einer oder der anderen der eben erwähnten Eigenschaften begabt sind.

AR = 18° 13′, D = + 57° 48′, in der Kassiopeja. Ein Doppelstern; der hellere 9. Größe; die Distanz beider 12″. Er steht in der Mitte eines großen, runden Nebels oder eigentlich Sternhaufens.

AR = 26° 50′, D = + 40° 14′; 55 Andromeda. Ein feiner Doppelstern mit einer runden Lichtsphäre von 90″ Durchmesser. Entdeckt von Flamsteed.

AR = 81° 12′, D = + 34° 10′, im Fuhrmann. Ein runder Nebel, der einen dreifachen Stern umschließt. Der letztere bildet ein gleichseitiges Dreieck, dessen Seite 4″ beträgt. Die 3 Sterne sind der 9., 11. und 12. Größe. Siehe Atlas d. g. H., Fig. 28. Einige Beobachter wollen den Nebel selbst nicht rund, sondern gleichfalls in der Gestalt eines nahe gleichseitigen Dreieckes gesehen haben, so daß die Lage und die Form der beiden Dreiecke, von denen das eine vom Nebel, das andere von den drei Sternen gebildet wird, eine auffallende Analogie haben würden.

AR = 104° 51′, D = − 11° 10′, im Einhorn. Ein Doppelstern in der Mitte eines runden Nebels.

AR = 192° 57′, D = + 22° 14′, im Haupthaar der Berenice. Ein sehr schwer zu trennender Doppelstern, von einem hellen, runden, großen Nebel von 6′ Durchmesser umschlossen. Neben dem Sterne ist eine schwarze Stelle, vielleicht eine Öffnung im Nebel.

AR = 272° 47′, D = − 19° 55′, im Schützen. Ein heller, elliptischer Nebel; in jedem Brennpunkte der Ellipse steht ein Sternchen. Die größere Achse der Ellipse erscheint unter dem Winkel von 50″. Siehe Atlas d. g. H., Fig. 27.

AR = 325° 10′, D = + 65° 39′, im Cepheus. Ein Tripelstern in der Mitte eines schwachen, schlecht begrenzten Nebels.

§ 208. (Sterne mit Nebelstrahlen.) Bei diesen Himmelskörpern steht der Fixstern meistens sehr nahe an der einen Grenze des Nebels, welcher letzte oft die verschiedensten Gestalten annimmt, wie folgende Beispiele zeigen.

AR = 25° 56′, D = + 5° 25′, in den Fischen. Ein Fixstern 9. Größe, an dem äußersten Ende eines sehr feinen, geradlinigen, schmalen Nebelstreifens.

AR = 98° 26′, D = + 8° 50′, im Einhorn. Ein Stern 11. Größe mit einem lichten, fächerartigen Nebelschweife. Länge und Breite des Schweifes nahe 1′. Die Spitze desselben scheint den Stern nicht zu berühren und der Stern wird matt und schwach begrenzt gesehen. Nach Rosse steht der Stern etwas außerhalb eines kleinen, runden Nebels und von diesem ganz getrennt, breitet sich nach einer Seite hin ein zweiter, größerer fächerartig aus. Siehe Atlas d. g. H., Fig. 20, 21.

AR = 127° 12′, D = − 15° 48′, im Einhorn. Ein Stern 12. Größe mit einem Nebelpinsel von 15″ Länge.

AR = 132° 56′, D = + 54° 9′, im großen Bären. Ein Stern 10. bis 11. Größe mit einem lichten, fächerartigen Nebelanhang. In dem Nebel selbst ist noch ein feines Sternchen sichtbar. Siehe Atlas d. g. H., Fig. 22.

AR = 164° 32′, D = + 18° 40′, im großen Löwen. Zwischen 2 Sternchen breitet sich ein Nebel aus, der einem elektrischen Büschel sehr ähnlich ist.

AR = 168° 47′, D = + 14° 8′, im großen Löwen. Ein sehr langer, schmaler Nebelstreifen, 15′ lang, 1′ breit. In der Mitte heller. Siehe Atlas d. g. H., Fig. 16.

AR = 182° 42′, D = + 13° 43′, im großen Löwen. Ein sehr heller, elliptischer, spindelförmiger Nebel; in seinem lichten Kern ist ein kleiner Fixstern. Diameter 7′.

AR = 187° 51′, D = + 26° 32′, im Haupthaar der Berenice. Ein sehr langer Streifen, mit einem schwachen Kerne, in dessen Mitte ein Stern 10. Größe. Länge 15′, Breite 0·5′. Ihm nahe und parallel ein ähnlicher kleinerer Nebel. Siehe Atlas d. g. H., Fig. 19.

AR = 193° 34′, D = + 35° 24′, in den Jagdhunden. Ein schwacher, kleiner, elliptischer Nebelstrahl, der 2 Sterne der 9. und 11. Größe an seinen Endpunkten verbindet. Siehe Atlas d. g. H., Fig. 23.

AR = 193° 54′, D = + 3° 2′, in der Jungfrau. Ein Stern 9. Größe, an welchem das Ende eines kleinen ovalen Nebels hängt.

§ 209. (Spiralnebel.) Zu den interessantesten Gebilden der Sternenwelt, deren Erkenntnis uns aber erst die mächtigen optischen Hilfsmittel der Neuzeit und zunächst die Riesenreflektoren von Lord Rosse und Lassell erschlossen haben, gehören unstreitig jene, in denen die Lichtmaterie spiralig angeordnet ist. Die Anzahl dieser Nebelgestalten ist keineswegs eine geringe; allein ihre eigentliche Struktur, nämlich die spiralige Anordnung einzelner ihrer Partien tritt nur in sehr kräftigen, lichtstarken Fernrohren hervor. Die bekanntesten und instruktivsten Wesen dieser Art sind:

AR = 141° 38′, D = + 21° 56′, im großen Löwen. Erscheint in schwachen Fernrohren als ein elliptischer Nebel, mit zwei Lichtknoten, dessen lange Achse einen Durchmesser von 3′ besitzt. Rosse sieht den Kern des helleren, südlicheren Nebelknotens wie eine gedrängte Gruppe von Sternen; um diesen Kern, der so ziemlich das Zentrum der Figur ausmacht, erscheint der übrige Teil des Nebels in spiralförmigen Windungen, in welchen der zweite, schwächere Nebelkern sitzt. Siehe Atlas d. g. H., Fig. 55, 56.

AR = 168° 26′, D = + 13° 38′, im großen Löwen. Elliptischer Nebel mit rundem Kerne, in der Mitte bedeutend heller, 4′ lang. Der runde Kern hat 20″ bis 30″ Durchmesser. Rosse sieht ihn mit deutlich elliptischem, spiralförmig gewundenen Kerne, das ganze flockig. Siehe Atlas d. g. H., Fig. 14, 15.

AR = 189° 20′, D = + 33° 5′, in den Jagdhunden. Ein sehr langer, elliptischer oder spindelförmiger Streifen mit einem schwachen Kerne, in dessen Mitte ein helles Sternchen. Der Streifen ist 15′ lang und an dem einen Ende gekrümmt. Seitwärts von ihm ein kleiner, runder Nebel. Rosse sieht ihn mit viel weniger regelmäßig verteiltem Lichte und gewunden, den kleineren Nebel etwas elliptisch. Siehe Atlas d. g. H., Fig. 17, 18.

AR = 201° 26′, D = + 47° 44′, in den Jagdhunden. Ein sehr merkwürdiger Gegenstand, den Messier als einen Doppelnebel beschreibt, während Herschel ihn als einen lichten runden Kern sieht, der in einiger Entfernung mit einem teilweise gespaltenen Nebelringe umgeben ist und einen Begleiter neben sich hat. (Taf. XIII unten Kartons links und rechts.) Rosse's Riesenteleskop hingegen zeigt den Hauptkern strahlig; von ihm gehen nach allen Richtungen spiralförmige Windungen aus, deren hellere deutliche Spuren von Auflösbarkeit zeigen und in schwächeren Fernrohren als ein geteilter Nebelring erscheinen, während schwächere Spiralen auch noch den zweiten Kern einhüllen (Taf. XIII).

AR = 344° 59′, D = + 11° 47′. Ein langer spindelförmiger Nebel von 2′ Länge und 30″ Breite, der gegen die Mitte sehr regelmäßig an Licht zunimmt. An beiden Enden steht ein Stern 11. Größe, wovon aber der eine von der Achse der Spindel etwas verrückt erscheint. Auch im Innern dieses Nebels sieht man noch 3 sehr feine Sternchen. Rosse sieht an dem spindelförmigen Nebel einen

anderen spiralförmig gewundenen, den jener gleichsam tangiert. Siehe Atlas d. g. H., Fig. 24, 25.

Mit der fortschreitenden Verstärkung unserer optischen Hilfsmittel werden zweifellos noch viele der in den vorangehenden Paragraphen (204 bis 208) aufgezählten Nebel sich als Spiralnebel herausstellen, wie dies auch bei allen hier genannten der Fall war, namentlich aber bei dem merkwürdigen an vorletzter Stelle angeführten, der zuerst als Doppelnebel und hierauf als ringförmiger beschrieben wurde, ehe man seine spiralige Struktur erkannte. So kann man beispielsweise schon heute mit einer nahezu an Gewißheit grenzenden Wahrscheinlichkeit behaupten, daß auch der Nebel AR = 98° 26′, D = + 8° 50′, im Einhorn (§ 208) und der Doppelnebel AR = 109° 49′, D = + 29° 41′, in den Zwillingen (§ 205) zu den Spiralnebeln gehören. Besonders beachtenswert aber ist es, daß auch in den Sterngruppen sich häufig eine spiralige Anordnung bemerkbar macht, worauf schon seiner Zeit (§ 202) hingewiesen wurde.

E. Holden, der sich sehr eingehend mit diesen Gebilden befaßt hat, glaubt, daß die Spiralnebel und noch eine Reihe anderer in unregelmäßigen, barocken Formen erscheinender Nebel sämtlich nach dem Muster einer gewissen typischen Spirale gebaut seien und hat daher aus ihnen eine eigene Gruppe gebildet, die er helikalische Nebel nennt.

§ 210. (Einige andere merkwürdige Nebel.) Bei der großen Mannigfaltigkeit der Formen, unter welchen die Nebelmassen am Himmel erscheinen, lassen sich nicht alle unter die hier betrachteten Typen einreihen. Wir wollen daher noch einige weitere merkwürdige Gebilde dieser Art besprechen.

AR = 82° 7′, D = + 21° 57′, im Stier. Dieser von Rosse „Cral Nebula“ genannte Gegenstand kann uns als Beispiel dienen, wie verschieden die Beschreibungen eines und desselben Gegenstandes sind, wenn er mit schwachen oder mit sehr lichtstarken Fernrohren beobachtet wurde. Messier, der die Gruppe mit einem sonst guten Fernrohre von 9·5 cm Öffnung zufällig auffand, als er den von de la Nux im Jahre 1758 entdeckten Kometen verfolgte und dadurch veranlaßt wurde, den ersten Nebelkatalog anzulegen, sagt von ihr, daß sie ein sternleerer Nebelfleck sei, nebuleuse sans étoiles, der ihm rund und ziemlich hell erscheine. W. Herschel aber, der diese Gruppe mit seinen stärksten Teleskopen beobachtete, setzt ihr in seinem Tagebuche folgende Note bei: „Eine Gruppe von äußerst dicht gedrängten Sternen und einer der prachtvollsten Gegenstände, die ich je am Himmel gesehen habe. Ich sehe sie unter der Gestalt einer gediegenen Kugel, zusammengesetzt aus sehr kleinen, beinahe an einander liegenden Sternen, deren Glanz ineinanderfließt und sich wie ein Lichtmeer über das Ganze ergießt.“ J. Herschel machte 20 Jahre später zu seiner Beobachtung derselben Gruppe eine ähnliche Bemerkung und bildet sie ab wie Atlas d. g. H., Fig. 33, während Rosse von ihr sagt: „Ein ungemein schöner Gegenstand, die Sterne in ihm sind sehr klein, von der 10. bis 15. Größe und stehen sehr nahe aneinander.

Das Ganze ist mehr unregelmäßig rund als kugelartig, und der Rand desselben mit schwach beleuchteten auslaufenden Ansätzen versehen, die wie Füße und Scheren eines Krebses von dem Hauptkörper austreten. Die Sterne in dieser Gruppe sind in der That unzählbar." Seine Zeichnung zeigt Atlas d. g. H., Fig. 34.

AR = 273° 43′ D = − 16° 13′ im Schützen ist ein großer Nebel, der die Gestalt eines Ω hat, und deshalb in England auch häufig als Horse-shoe nebula bezeichnet wird. Einige Stellen desselben sind entschieden in Sterne auflösbar. Auch hat er zwei große, runde und lichte Stellen, deren Helligkeit gegen die Mitte sehr zunimmt. Nach Lamont und Holden scheinen Veränderungen im Lichte und in der Verteilung der Sterne gegen den Nebel vorzugehen.

AR = 298° 48′ D = + 22° 27 im Fuchs ist eine der merkwürdigsten Nebelgestalten. Wenn man in einer Ellipse, deren große und kleine Achse sich nahe wie 4 zu 3 verhalten, aus den beiden Brennpunkten als aus Mittelpunkten Kreise zieht, deren Durchmesser gleich einem Drittel der großen Achse sind, so werden die Bogen dieser Kreise um den Mittelpunkt der Ellipse einen Teil derselben begrenzen, der in jenem Himmelskörper mit einem sehr hellen und durchaus gleichförmigen Nebel ausgefüllt ist, während die beiden übrigen, äußeren Teile der Ellipse mit einem schwachen, matt dämmernden Nebel angefüllt sind. Das Ganze hat die Gestalt einer Ellipse, durch deren Mitte jener lichte Nebel in der Form eines)(zieht, weshalb Herschel diesen Gegenstand Dumbbell-Nebula nannte. Beide Nebel fand dieser Beobachter, wie das ganze Bild, zu beiden Seiten des Mittelpunktes der Ellipse sehr symmetrisch gebaut. Rosse sieht den Nebel bedeutend unregelmäßiger und an den hellsten Stellen flockig. Siehe Atlas d. g. H. Fig. 40, 41. Bringt man letztere Zeichnung in eine solche Entfernung vom Auge, daß das Detail verschwindet, so nähert sie sich immer mehr der Abbildung nach Sir John Herschel.

AR = 310° 23′ D = + 30° 21′ im Schwan, ein langer gewundener Streifen, milchfarbig, 30′ lang; nahe nördlich über ihm ein anderer schwächerer und schlangenförmiger Nebel. Siehe Atlas d. g. H. Fig. 42. Langgezogene und schlangenförmige Nebelstreifen kommen übrigens mehrfach am Himmel vor, z. B. in AR = 182° 12′, D = + 15° 28′ in der Jungfrau. Dies ist ein an seinen Enden unregelmäßiger Streifen von 10′ Länge, mit einer hellen kernartigen Stelle nahe an der Mitte. Ein ähnlicher, jedoch noch viel größerer Nebel findet sich im Schwan, in AR = 313° 48′ D = + 43° 56′, dessen Grenzen aber sehr schwach und unbestimmt sind.

AR = 313° 1′ D = + 31° 19′ im Schwan. Ein über 1° langer Nebel, dessen eine Hälfte gabelförmig gespalten ist. An der Stelle, wo diese Spaltung beginnt, sieht man 4 Sterne, die ein Trapez unter sich bilden. Dieser sonderbare Himmelskörper ist nur mit starken Fernrohren sichtbar, und die ihn begrenzende Umgegend ganz mit einem schuppenartigen Nebel überzogen. Nahe dabei:

AR = 313° 15′ D = + 30° 50′ im Fuchs, ein nicht minder rätselhafter

Gegenstand, nämlich ein Nebel von nahe 30′ Länge und 20′ Breite, der an einzelnen Stellen dicht mit sehr kleinen Sternen besäet ist, die offenbar mit ihm zusammenhängen. Der Nebel selbst sieht durchaus nicht sternig aus: das Ganze gleicht vielmehr einem feinen Netze von Sternen, über das ein dünner Schleier gezogen ist.

Nachdem wir auf diese Weise die verschiedenen Gattungen der Nebelmassen des Himmels im allgemeinen betrachtet haben, bleibt uns noch übrig zwei vorzüglich merkwürdige anzuführen, die eine eigene Betrachtung verdienen.

§ 211. (Nebel in der Andromeda.) Der große, merkwürdige, schon dem unbewaffneten Auge sichtbare Nebel bei ν Andromeda in AR $= 9^0\,19'$ D $= +40^0\,43'$ wurde schon von Abd-al-Rahman im 10. Jahrhundert als bekannter Gegenstand aufgeführt, in Europa aber erst 1612 von Simon Marius bemerkt. Dieser vergleicht sein Licht mit dem einer Kerze, das durch ein dünnes Hornblatt scheint, — ein Vergleich, der für ein Fernrohr von mäßigen Dimensionen sehr passend ist. In einem starken Fernrohre wird er aber zu einem mächtigen, ovalen Gebilde von mehr als 3^0 Länge und 2^0 Breite mit mehreren Lichtknoten umgestaltet, indem man erkennt, daß er sich noch über die 3 benachbarten Nebelkerne: AR $= 9^0\,19'$ D $= +40^0\,19'$, AR $= 8^0\,47'$ D $= +40^0\,11'$ und AR $= 8^0\,44'$ D $= +41^0\,2'$ hinaus erstreckt. Außerdem bemerkte zuerst G. P. Bond mit dem Refraktor von 38 cm des Harvard College zu Cambridge (Nord-Amerika) zwei scheinbar unter sich und mit dem längsten Durchmesser des Nebels parallele schmale dunkle Streifen, die wie Risse das Ganze durchschneiden. Die Deutung dieser rätselhaften Gebilde verdanken wir erst einer Photographie von Roberts, die Tafel XI reproduziert ist. Auf dieser erkennt man nämlich bei einiger Aufmerksamkeit unschwer, daß diese Streifen bloß die dunkelsten Partieen mächtiger elliptischer Ringe sind, die den Kern spiralförmig umziehen, mit anderen Worten, daß der große Andromeda-Nebel zu den Spiralnebeln gehört.

Das Spektrum dieses Nebels ist ein kontinuierliches, was darauf deutet, daß er ein Konglomerat von Sternen (§ 215), etwa wie unsere Milchstraße sei; ihn in solche aufzulösen ist aber bisher nicht gelungen. Wohl umgeben und überdecken ihn zahllose sehr kleine Sternchen: dieselben scheinen aber nicht zu ihm zu gehören, sondern sich nur auf ihm zu projizieren. Ob der Stern, welcher Mitte August 1885 sich in seinem Inneren zeigte (§ 198 Nr. 6), bloß eine in der Gesichtslinie des Nebelfleckens aufgetauchte Nova war, oder ob sein Erscheinen durch physische Vorgänge im Nebel selbst hervorgerufen wurde, wird sich wohl nie mit Sicherheit entscheiden lassen. Die letztere Alternative scheint jedoch deshalb als die wahrscheinlichere, weil der Stern gerade im dichtesten Teile des Nebels aufleuchtete.

§ 212. (Der große Nebel im Orion.) Der merkwürdigste aller Nebel steht in AR $= 82^0\,35'$, D $= -5^0\,27'$ bei ϑ Orion, 4^0 unter dem mittleren der 3 in einer geraden Linie liegenden Sterne δ, ε und ζ, die unter dem Namen des

Jakobsstabes bekannt sind. Er wurde zuerst von Huyghens im Jahre 1659 beschrieben und abgebildet, bis dahin aber merkwürdigerweise nur etwa zufällig wie 1619 bei Cysatus erwähnt, obgleich er schon mit freiem Auge wahrzunehmen ist. Seither haben sich zahlreiche Astronomen sehr eingehend mit diesem hochinteressanten Objekte beschäftigt, und namentlich in unserem Jahrhunderte von demselben eine Reihe von Beschreibungen und Zeichnungen gegeben, die an Genauigkeit und Schönheit der Ausführung nichts zu wünschen übrig lassen. Diese Zeichnungen hat vor einem Decennium Holden in einer Monographie des Orionnebels zusammengestellt, die schon beim bloßen Durchblättern äußerst interessant ist, weil sie zeigt, wie verschieden derselbe Gegenstand sich in verschieden starken Fernrohren darstellt. Tafel XII ist eine Kopie von Bond's Abbildung des Nebels und so zu verstehen, daß oben Süd, rechts Ost, unten Nord und links West liegt.

Dieser Nebel ist durch die Schönheit seines Anblicks, durch die Eigentümlichkeit seiner Gestalt, die Legentil mit der des geöffneten Rachens eines Tieres vergleicht, durch die sonderbare Abwechselung des auf ihm verteilten Lichtes und durch seine große Ausbreitung vor allen anderen ausgezeichnet. Ein Teil desselben ist ungemein hell, ein anderer sehr blaß und matt und wieder ein anderer ganz dunkel bis zur völligen Schwärze. Die dunklen Stellen sind von den hellen, ohne Abstufung des Lichtes, scharf getrennt. Die in diesem Nebel, selbst in den helleren Teilen desselben stehenden Fixsterne zeichnen sich alle durch einen besonders lebhaften Glanz aus, und ihre Stellung scheint eine wesentliche Beziehung auf ihn zu haben. Ebenso findet man in seiner Umgebung nach allen Seiten eine Menge größerer und kleinerer Sterne, die sämtlich nur in einem düstern Lichte schimmern und mit eigenen Nebelsphären umgeben sind, wie denn überhaupt diese ganze Gegend des Himmels an Nebeln ungemein reich ist.

Um einige der vorzüglichsten Teile dieses großen Nebels näher anzugeben, bemerken wir zuerst das sogenannte Trapez (siehe oben § 187), ein fast regelmäßiges Viereck, von 4 Sternen gebildet, von welchem der eine, ϑ Orion, der 6. und die 3 anderen der 7., 7.—8. und 8. Größe sind. Dieser vielfache Stern ist von einem sehr hellen Nebel umgeben, der aber für das Fernrohr nicht bis zu diesen Sternen vordringt, sondern von welchem Spuren hier nur noch mittels des Spektroskopes zu entdecken sind, das im Trapez dieselben Linien wie im Nebel zeigt.

Südwestlich vom Trapez befindet sich die hellste Stelle des Nebels. Sie hat die Form eines rechtwinkligen Dreiecks, leuchtet aber nicht in einer gleichmäßigen Helligkeit, sondern erscheint vielmehr schuppen- oder flockenartig, fast wie die Oberfläche der Sonne in guten Fernrohren, nur sind die Flocken nicht rund, sondern länglich und büschelartig und von gröberer Körnung. Diese Partie ist im Süden begrenzt von einer ganz mit schwachem Nebel bedeckten Stelle, die sich unter verschiedenen finsteren Einbuchtungen stufenweise im Dunkel verliert,

während im Osten sich zwei Nebeläste von ihr abzweigen, die sich nach Süden umbiegen, und weithin fortlaufen.

Die nordöstlich vom Trapez liegende dunkle Bucht begrenzt und umschließt eine Region, die sich durch eine besondere Faserung auszeichnet. Außerdem findet sich unterhalb der Grenze dieser Region noch eine wie es scheint isolierte Nebelmasse, die einen langen Arm parallel dem unteren der beiden oben genannten Äste weithin nach Südost streckt.

Das Spektrum des Orionnebels besteht aus einzelnen hellen Linien, ist also das glühender Gase; wir sehen daher in ihm eine leuchtende Gasmasse vor uns, von einer Ausdehnung, von der wir uns weiter keine Vorstellung machen können. Unter den zahlreichen kleinen, in ihm vorhandenen Sternen kommen höchst wahrscheinlich mehrere Veränderliche vor (§ 198 Nr. 24), was zuerst O. Struve bemerkte, dann Winnecke und Tisserand bestätigten. Einige Regionen scheinen auch in den älteren Zeichnungen anders geformt zu sein als in den neueren. Aus diesem letzteren Umstande den Schluß zu ziehen, daß große Veränderungen im Nebel vor sich gegangen, hat jedoch sein Mißliches, weil nicht nur mit einer Änderung der optischen Kraft des Fernrohrs das Aussehen dieser Gebilde unglaublich wechselt, wie wir bei Besprechung der einzelnen Nebel mehrmals hervorzuheben Gelegenheit hatten, sondern auch bei einem und demselben Fernrohre die Verschiedenheit in der Durchsichtigkeit der Luft hierin einen merkwürdigen Einfluß ausübt. Mehr Beachtung hingegen verdient die Angabe von O. Struve, er habe Schwankungen im Lichte verschiedener Partieen des Nebels vorgehen sehen, wie sie ähnlich schon von Schröter und Harding erwähnt und von W. Herschel vermutet wurden. Namentlich soll die hellste Region des Nebels im Südwesten des Trapezes in fortwährender Agitation begriffen sein wie die Oberfläche eines Meeres, was, zusammengehalten mit der Häufigkeit von Veränderlichen gerade in derselben Gegend, allerdings zu weiterer Erforschung dieses wunderbaren Objektes dringend auffordert.

§ 213. (Sternhaufen und Nebelflecke des südlichen Himmels.) In den uns unsichtbaren Teilen der südlichen Hemisphäre des Himmels giebt es viele höchst merkwürdige Gegenstände dieser Art, die noch bis vor kurzem wenig bei uns bekannt waren. Halley im siebzehnten, Lacaille im vorigen, Dunlop und Rümker im gegenwärtigen Jahrhunderte, hatten uns wohl mehrere derselben beschrieben, aber eigentlich beginnt unsere Kenntnis dieser Objekte wie überhaupt der Beschaffenheit des ganzen südlichen Himmels erst mit John Herschel. Mit einer Unermüdlichkeit und einer Umsicht, die in der Geschichte der Wissenschaften ihres gleichen suchen, hat er während eines fünfjährigen Aufenthaltes am Kap der guten Hoffnung eine Masse von Beobachtungen angestellt, die unsere Bekanntschaft mit diesem Teile des gestirnten Himmels so zu sagen plötzlich nahe auf dieselbe Höhe brachte, die für den europäischen Himmel nur durch das vereinte Bemühen vieler Astronomen während vieler Decennien erreicht wurde. Sternhaufen und Nebelflecke allein hat

er gegen 2000 genau registriert und von vielen derselben umfangreiche Monographien geliefert, aus denen wir hier einiges mitteilen wollen.

Vor allem sind die Kap- und Maggelanswolken (nubeculae) zu erwähnen. Mit freiem Auge gesehen, stellen sich dieselben in Nächten ohne Mondschein, der die kleinere Wolke ganz, die größere beinahe verschwinden macht, so dar, wie in Fig. 47 und 48 des Atlas zu sehen. Die größere dehnt sich von 156° bis 162° nördlicher Poldistanz und 70° bis 90° Rektascension aus; die kleinere erstreckt sich von 162° bis 165° Poldistanz und von 7° bis 19° AR. Jene nimmt also beiläufig 42, diese 10 Quadratgrade ein. Beide gleichen Teilen der Milchstraße, von der sie übrigens weit ab und völlig getrennt liegen. Auf der östlichen Seite der größeren Wolke sieht man einen auf der übrigen Nebelmasse durch größeres Licht sich etwas abhebenden Fleck (bei a in Fig. 47 d. A.); der kleinen Wolke westlich steht ein von dieser völlig isolierter Nebel (bei b in Fig. 48 d. A.). Die größere wird schon von Abd-al-Rahman unter dem Namen „der weiße Ochse" erwähnt, von europäischen Reisenden aber erst im Anfange des 16. Jahrhunderts besprochen.

Mit dem Fernrohre untersucht, zeigen diese Wolken eine äußerst verwickelte Zusammensetzung. Der allgemeine Hintergrund von beiden besteht aus langen Streifen und Flecken Nebels in allen Stufen der Auflösung, vom unauflösbaren Lichte bis zu Sternhaufen und gleich vielen Stellen der Milchstraße völlig unterscheidbaren Sternen. Diese Objekte stehen hier weit dichter als an irgend einem anderen Teile des Himmels. J. Herschel zählt außer etwa 600 Sternen von der 7. bis 9. Größe nicht weniger als 278 Nebel und Sternhaufen in der größeren Wolke, 50 bis 60 in der Nähe liegende und höchst wahrscheinlich zu ihr gehörige solche Objekte nicht gerechnet; in der kleineren führt er 37 sowie 6 naheliegende Gegenstände dieser Art auf und beiläufig 200 Sterne obiger Größen. Der lichtere Fleck in der größeren Wolke, den man mit freiem Auge bemerkt, stellt sich, durch das Fernrohr gesehen, als Nebel mit der in Fig. 49 des Atlas ersichtlichen merkwürdigen Gestalt dar und enthält nicht weniger als 105 Sterne der 9. bis 13. Größe auf einem Raume, der etwa $^1/_{500}$ der Fläche der ganzen Wolke beträgt. Der Nebel der kleineren Wolke zeigt sich durch das Fernrohr als sehr dichter Sternhaufen, etwa wie Fig. 10 des Atlas, blaß rosenfarb, gegen 20′ im Durchmesser. Die Umgebung beider Wolken ist auffallend sternarm.

Ebenso merkwürdig ist der große Nebel bei η Argo zwischen 159° und 161° AR, und von 148° 30′ bis 149° 40′ Poldistanz. Dieser Nebel ist nach J. Herschel's Beobachtung mit einem Spiegelteleskope von 47 cm Öffnung in Fig. 39 des Atlas dargestellt. Er nimmt etwa einen Quadratgrad ein und zeigt nirgends eine Spur von Auflösbarkeit, auch nicht um die merkwürdige ovale Öffnung, wo er am dichtesten ist. Er liegt in einer sehr reichen und glänzenden Stelle der Milchstraße, die hier so dicht mit (in der Abbildung größtenteils weggelassenen) Sternen besäet ist, daß sich beiläufig auf der halben Fläche des Nebels

nicht weniger als 1200 Sterne bis zur 14. Größe herab befinden, die aber weiter in keinem Zusammenhange mit dem Nebel gedacht werden dürfen und Teilen der Milchstraße angehören, die eben nur zufällig auf dem Nebel als Hintergrund sich projizieren. Ohne diesen lichten Hintergrund zeigen sich in jener Gegend der Milchstraße noch weit mehr Sterne, nämlich im Durchschnitte über 3000 auf einem Quadratgrad. Man sieht also hier die Milchstraße durch einen Nebel oder wahrscheinlicher durch dieselbe über einen sternlosen Raum weg in Welten, die von unserem Sternsysteme ganz getrennt sind. Übrigens vermuten mehrere Beobachter gewisse Schwankungen in der Verteilung der Nebelmaterie sowie mehrere Veränderliche bei η Argo, der selbst entschieden variabel ist (§ 198, Nr. 51), also ähnliche Verhältnisse, wie wir sie beim Orionnebel zu verzeichnen hatten, ebenso wie auch das Spektrum dieses Nebels ein Linienspektrum, also das eines leuchtender Gase ist.

Noch wollen wir dreier merkwürdiger Sternhaufen des südlichen Himmels Erwähnung thun. Den ersten, Bode's Nr. 47 im Toucan ($AR = 4^0\,54'$, $D = -72^0\,38'$), einen prachtvollen, rundlichen, ausgedehnten Sternhaufen mit starker centraler Verdichtung, hält Gould für das großartigste Gebilde dieser Art am ganzen Himmel. Den zweiten, ω Centaur ($AR = 200^0\,12'$, $D = -46^0\,47'$), endeckt 1677 von Halley, erklärt J. Herschel für den augenfälligsten Himmelskörper seiner Art. Dem freien Auge stellt er sich als ein nebeliges, rundes Objekt im Glanze eines Sternes 4. bis 5. Größe dar. In einem mächtigen Fernrohre zeigt er sich als eine Kugel von 20' Durchmesser, gegen die Mitte langsam an Licht zunehmend, von unzähligen Sternen der 12. und 13. Größe gebildet, beiläufig wie Fig. 8 des Atlas, nur regelmäßiger im Umrisse. Der dritte, $\varkappa$ Kreuz ($AR = 191^0\,56'$, $D = -59^0\,48'$), von Lacaille für einen Nebel gehalten, löst sich in stärkeren Teleskopen völlig auf. In einer Ausdehnung von beiläufig $^1/_{48}$ Quadratgrad zeigen sich etwa 110 Sterne von der 7. bis 13. Größe, von denen 8 der auffallenderen in roter, grüner und blauer Farbe glänzen, so daß das Ganze den Anblick eines reichen Geschmeides bietet und infolgedessen auch Gem cluster genannt wird. Nach H. C. Russell in Sydney besteht der Haufen aus drei Gruppen von Sternen, von denen zwei sich von der dritten nach und nach entfernen, und zeigte 1872 nicht weniger als 25 Sterne, die J. Herschel mit viel stärkeren Teleskopen 1835 nicht sah oder, wie wir glauben, wahrscheinlicher bloß übersah.

§ 214. (Eigenbewegung und Veränderlichkeit dieser Himmelskörper.) Die Kenntnis der Nebelflecke ist noch viel zu neu, als daß wir bei den Schwierigkeiten, mit welchen deren Beobachtung verknüpft ist, schon jetzt aus Ortsveränderungen derselben Eigenbewegungen an ihnen hätten konstatieren können. Wir können gegenwärtig nur behaupten, daß diese Gebilde starke Eigenbewegungen sicher nicht besitzen. Dies Resultat war übrigens auch von vornherein zu erwarten, da, wie wir wissen, ein großer Teil der Nebelflecke durch Anwendung kräftiger Fernrohre in Stern-

haufen sich auflöst und wir sie aus diesem Grunde, wenigstens teilweise, als die entferntesten uns noch sichtbaren Bewohner des Himmelsraumes betrachten müssen. Ihre Eigenbewegungen werden uns daher wegen der ungeheuren Entfernung, aus der wir sie erblicken, so klein erscheinen, daß sie erst im Laufe vieler Jahrhunderte merkbar werden können, und dies um so mehr, als bei den Ortsbestimmungen der Nebelflecke wegen ihrer Ausdehnung und wegen ihres meist verwaschenen Aussehens nicht jene Genauigkeit erreichbar ist, deren sich die Ortsbestimmungen der Fixsterne erfreuen. Man hat zwar schon wiederholt gemeint, an Doppelnebeln, namentlich an dem AR = 109° 49′ D = + 29° 41′ in den Zwillingen (§ 205), eine Bahnbewegung des einen Nebels um den andern aufgefunden, und am Trifid Nebula AR = 269° 4′ D = − 23° 2′ im Schützen (§ 206) sogar eine Verschiebung der ganzen Nebelmasse gegen den Tripelstern im dunklen Raume zwischen den 3 Ästen nachgewiesen zu haben, allein spätere Beobachtungen haben dies nicht bestätigt, sondern dargethan, daß die älteren Beobachtungen, aus welchen diese Schlüsse gezogen wurden, für derartige feine Untersuchungen keine genügende Genauigkeit besitzen. Obwohl wir daher erst von einer entfernten Zukunft eine nähere Erkenntnis der auf unserer Gesichtslinie senkrecht stehenden Komponente der Bewegung dieser Gebilde erhoffen können, hat uns zur Bestimmung der anderen in unseren Visionsradius fallenden Komponente dieser Bewegung wenigstens für einen Teil dieser Himmelskörper, die Gasnebel, das Spektroskop durch die Messung der Verschiebung der hellen Linien ihres Spektrums ein Mittel an die Hand gegeben. (§ 183.) Solche Messungen hat auch bereits Keeler am großen Orionnebel und an 13 planetarischen Nebeln ausgeführt; da aber die hierfür geeignetste Spektrallinie der Nebelflecke damals noch auf keinem Gestirne, die Sonne mit eingeschlossen, konstatiert worden war, konnte er nicht die absolute, sondern nur die relative Verschiebung dieser Linie gegen die Linien terrestrischer Lichtquellen ermitteln. Man kann daher vorläufig aus seinen Messungen nur die relativen Bewegungen der untersuchten Nebel gegen einander ableiten, welche beiläufig ebensogroß sind, wie die bei den Sternen vorkommenden.

Die großen Verschiedenheiten, welchen man bei der Vergleichung der Beschreibung des Aussehens, der Gestalt, Helligkeit und Ausdehnung einzelner Nebelflecke begegnet, haben schon vielfach zu mehr oder minder bestimmten Behauptungen über die Veränderlichkeit solcher Himmelskörper geführt. In den meisten derartigen Fällen läßt sich jedoch unschwer nachweisen, daß die vermeintlichen Veränderungen auf Anwendung von Fernrohren von verschiedener optischer Kraft, auf verschiedene Empfindlichkeit des Auges für schwache Lichteindrücke und auf die wechselnde Durchsichtigkeit unserer Atmosphäre zurückgeführt werden können, selbst wenn man dabei auch ganz von den Schwierigkeiten einer guten Beschreibung und einer naturgetreuen Wiedergabe dieser Gebilde absieht.

Zu den ausgedehntesten und instruktivsten Kontroversen in dieser Beziehung

führte wohl der blasse und ausgedehnte Nebel bei Merope, einem der hellsten Sterne der Plejadengruppe. Dieser Nebel wurde sonderbarer Weise erst am 19. Oktober 1859 von Tempel in Venedig aufgefunden und als ein großer heller Nebel geschildert, den er im ersten Augenblicke für einen schönen großen Kometen gehalten habe. Da aber Tempel seine Auffindung erst im Dezember des folgenden Jahres bekannt machte und dann wegen der, wie sich später herausstellte, in hohem Grade übertrieben angegebenen Helligkeit des Nebels manche Beobachter ihn anfangs ganz übersahen, alle aber nur mit Mühe wahrnehmen konnten, hielt man ihn um so sicherer für veränderlich, als sich damit auch ungezwungen erklärte, warum er früher noch nie bemerkt worden war, obgleich gerade die Plejaden unstreitig zu den am häufigsten und gründlichsten durchforschten Objekten des Himmels gehören. Ja, es gingen nach 1880 Hough und Burnham sogar so weit, die Existenz dieses Nebels überhaupt zu verneinen, da sie ihn im großen Refraktor zu Chikago nicht sehen konnten, wohl aber an seiner Stelle mehrere kleinere Sterne wahrnahmen, von denen sie glaubten, daß sie in Fernrohren von geringer optischer Kraft in ihrer Gesamtheit den Eindruck eines Nebels hervorrufen. Man konnte sich nämlich lange nicht erklären, warum Nebel an großen Instrumenten nur äußerst schwierig sichtbar sein sollten, die zu anderen Zeiten an viel kleineren leicht gesehen worden waren. Die Schwierigkeit liegt aber, wie man jetzt weiß und an vielen blassen ausgedehnten Kometen (vgl. § 156) wiederholt erprobt hat, in der Anwendung einer zu starken Vergrößerung und einem dadurch bedingten zu kleinen Gesichtsfelde.

Im Dezember 1885 lenkten die Plejaden abermals die Aufmerksamkeit der gesamten astronomischen Welt in hervorragendem Maße auf sich, als von Paris aus berichtet wurde, die Brüder Henry hätten auf ihren Photographieen um Maja, einen anderen Hauptstern der Gruppe, einen Nebel aufgefunden, — das erste Beispiel, daß mit Hilfe der Photographie ein Himmelskörper entdeckt wurde, den noch kein Menschenauge gesehen. Die Existenz dieses Nebels wurde bald darauf von den großen Refraktoren der Sternwarten zu Pulkowa und Wien verifiziert und er später auch anderwärts wiederholt beobachtet. Seither haben namentlich die Photographieen von Roberts noch das Vorhandensein mehrerer Nebelflocken und Nebelstreifen im Innern der Plejaden nachgewiesen, und Barnards Aufnahmen auch in deren Umgebung ausgedehnte Nebelmassen ersichtlich gemacht (§ 203), so daß sich die Ansicht des Herausgebers, die er kurz nach der Entdeckung des Maja-Nebels zu begründen suchte, die Plejadengruppe sei ganz in einen Nebel eingehüllt, von dem wir erst die helleren Partieen kennen, nach und nach vollständig bestätigt hat.

Ganz ähnlich, wie beim Merope-Nebel scheinen die Verhältnisse bei dem blassen ausgedehnten Nebel AR = 50° 47′ D = + 31° 2′ im Stier zu liegen. Auch hier sind die Stimmen, welche für eine Veränderlichkeit desselben eintraten, nach und nach verstummt. Nichts destoweniger giebt es einige Beispiele, wo

Helligkeitsveränderungen zweifellos an Nebelflecken vorgekommen, und andere wo sie sehr wahrscheinlich sind. Zu diesen gehören:

AR = 36° 24·5′ D = − 1° 33·2′ im Walfisch. Dieser Nebel wurde 1775 von W. Herschel, 1827 von J. Herschel und 1856 von d'Arrest mäßig hell gesehen, konnte aber 1861 von Schönfeld mit einem stärkeren Fernrohre, als d'Arrest wenige Jahre früher zu Gebote gestanden hatte, nicht wahrgenommen werden. In 1863 und 1864 sahen ihn Schönfeld und d'Arrest wieder, im folgenden Jahre 1865 suchte ihn aber Vogel am Leipziger Refraktor mehrmals vergeblich auf; hingegen beobachtete ihn Schönfeld 1868 neuerdings ohne Schwierigkeit, und 1877 fand ihn auch Winnecke recht hell. Ebenso sah ihn Dreyer 1887 ziemlich hell.

AR = 64° 2·0′ D = + 19° 17·1′ im Stier. Bei der Vergleichung seiner Ekliptikalkarten mit dem Himmel bemerkte Hind am 11. Oktober 1852 in dieser Gegend einen Stern 10. Größe, den er bis dahin nicht gesehen, und deshalb für einen Veränderlichen hielt, was sich auch bestätigte. (T Stier, § 198 Nr. 15). Diesem Sterne nördlich folgend bemerkte er noch den oben angeführten schwachen kleinen Nebel von 30″ Durchmesser. Diesen Nebel sah 1854 auch Chacornac zu Marseille, und 1855 und 1856 konnte ihn d'Arrest in Leipzig sogar bei Mondschein beobachten. In den folgenden Jahren nahm er aber an Helligkeit rasch ab. 1858 sah ihn Auwers in Königsberg nur schwierig, Ende 1861 und Anfang 1862 suchten ihn d'Arrest und Chacornac vergeblich; dagegen verloren ihn Lassell in Malta an seinem großen Reflektor, und O. Struve am Pulkowaër Refraktor damals noch nicht gänzlich aus den Augen, bis er 1868 auch für sie verschwand. Nunmehr sah aber O. Struve ganz in der Nähe, nämlich AR = 63° 58·3′ D = + 19° 16·9′, einen anderen, sehr schwachen Nebel, der vorher trotz der vielfachen sorgfältigen Absuchungen dieser Gegend noch nie wahrgenommen worden war.

Dieses Objekt bemerkte Tempel Anfang November 1877 als einen 1·5′ im Durchmesser haltenden Nebel, konnte aber schon am 12. Dezember keine Spur mehr von ihm erblicken, und Hind's Nebel weder im November noch Dezember sehen. Seitdem erfuhr man von diesen Nebeln nichts mehr, bis Mitte Oktober 1890 Burnham und Barnard Hind's Nebel im großen Fernrohre der Lick-Sternwarte wieder erblickten, aber an der äußersten Grenze der Sichtbarkeit, während der benachbarte Variable T Stier eine äußerst schmale kondensierte Nebelhülle hatte, und nach Keeler im Spektroskope auch den gewöhnlichen Typus der Gasnebel zeigte. Vom Struve'schen Nebel war damals nichts zu sehen. Am 25. Februar 1895 untersuchte Barnard die ganze Gegend abermals sehr gründlich, sah Hind's Nebel statt wie 1890 sehr schwach, relativ leicht, jedoch um T Stier keine Spur eines Nebels; am 24. März war aber Hind's Nebel neuerdings fast unsichtbar geworden, T Stier wieder deutlich nebelig, und auch Struve's Nebel wenigstens spurweise zu erkennen. Es sind daher außer T Stier auch die beiden Nachbarnebel variabel.

AR = 82° 51·8′ D = + 21° 9·5′ im Stier. Einen Stern 11. Größe, den Chacornac ein Jahr vorher beim Mappieren dieser Gegend nebelfrei gefunden hatte, sah er im Oktober 1855 von einem Nebel eingehüllt, der im Januar 1856 viel auffallender geworden, im November 1862 aber wieder verschwunden war und seitdem nicht wieder gesehen wurde.

AR = 169° 48·8′ D = + 11° 53·5′ im großen Löwen. Dieser Nebel wurde von W. Herschel zur I. Klasse, also zu den hellsten gezählt; J. Herschel bezeichnet ihn aber 1830 und 1831 als schwach, und rechnet ihn zur III. höchstens II. Klasse. Um 1840 sah ihn Boguslawski bei der Verfertigung seiner Sternkarte wieder sehr hell, Winnecke 1856 ziemlich hell, d'Arrest 1863 schwach, Winnecke 1878 und 1879 abermals hell I. bis II. Klasse, und Dreyer am 24. Mai 1887 neuerdings sehr schwach, an der Grenze der Sichtbarkeit.

AR = 275° 39·5′ D = + 74° 31·0′ im Drachen. Entdeckt von Tuttle am 1. September 1859. d'Arrest nahm diesen Nebel im September 1862 gut wahr; im August 1863 schien er ihm schwächer und im September 1863 konnte er ihn in demselben Fernrohre schon nicht mehr sehen.

Wir haben schon bei der Besprechung der Veränderlichen (§ 197) hervorgehoben, daß diese Gestirne häufig gruppenweise vorkommen und nicht selten mit Sternhaufen und Nebelflecken in Verbindung stehen, sowie weiter (§ 202) auch mehrere Sterngruppen namhaft gemacht, in deren Innerem man orangefarbene oder rote Sterne antrifft, unter denen sich bekanntlich viele Variable finden. Diese bemerkenswerte Thatsache hat nun Ende 1895 durch eine schöne Entdeckung von E. C. Pickering eine hochinteressante Illustration erfahren.

Aus zahlreichen, aus den Fonds der Draper-Stiftung auf der Sternwarte zu Arequipa in den Cordilleren aufgenommenen Photographieen von Sternhaufen ergiebt sich nämlich das bedeutsame Resultat, welches ohne Hilfe der Photographie wohl nie hätte gewonnen werden können, daß, und wie es scheint, nicht wenige Sterngruppen vorhanden sind, in denen ein beträchtlicher Teil ihrer Komponenten veränderlich ist. In dieser Beziehung bisher am eingehendsten untersucht ist der bereits am 5. Mai 1702 von G. Kirch aufgefundene Sternhaufen AR = 228° 22′ D = + 2° 28′. In demselben wurden schon 1890 von Packer 2 Variable aufgefunden, und von Common noch einige andere Sterne darin als der Variabilität verdächtig angegeben. Auf 17 photographischen Platten fanden sich aber nun unter 750 darauf hin untersuchten Sternen 46 bestimmt und 14 weitere wahrscheinlich veränderlich! Bemerkenswert ist noch, daß einige dieser Sterne kurze Perioden von nur wenigen Stunden besitzen. So geben 5 Photographieen, die am 1. Juli 1895 in Zwischenräumen von je einer Stunde aufgenommen wurden, für die Größe eines dieser Veränderlichen der Reihe nach 14·3, 13·5, 13·8, 13·9 und 14·3.

Einen noch größeren Prozentsatz von Veränderlichen weist die Gruppe AR = 204° 23′ D = + 28° 53′ auf, in welcher, abgesehen von einigen der Ver-

änderlichkeit verdächtigen Sternen, nicht weniger als 87 Variable mit Amplituden des Lichtwechsels von 0·5 bis 2·0 Größenklassen nachgewiesen werden konnten. Dabei ist noch zu erwähnen, daß hierbei die centrale Partie gar nicht berücksichtigt ist, da in ihr die Sterne zu gedrängt stehen, um genauer untersucht werden zu können. Einzelne Veränderliche kommen auch vor in den Sterngruppen

AR = 14° 43′ D = − 71° 23′ im Toukan,
AR = 277 35 D = − 24 0 im Schützen,
AR = 322 4 D = − 1 16 im Wassermann,
AR = 323 41 D = − 23 38 im südl. Fisch.

Schließlich sei noch bemerkt, daß alle hier als veränderlich angeführten Sterngruppen mit Ausnahme der im Toukan und im südlichen Fische in § 202 ausführlicher beschrieben wurden.

§ 215. (Natur der Nebelflecke.) Für die meisten dieser wundervollen Gebilde sind selbst unsere mächtigsten Fernrohre noch so schwach, daß sie uns kaum mehr als deren Existenz nachweisen können. Wie begründet dieser Ausspruch sei, lehren am besten die Untersuchungen von Rosse, welche uns nicht nur mit einer neuen ausgedehnten Klasse solcher Weltkörper, mit den spiralförmigen Nebeln, bekannt machten, sondern auch unsere Vorstellungen über die Konstitution der übrigen Nebel teilweise von Grund aus umgestalteten, indem sie z. B. viele planetarische Nebel in ringförmige überführten und Nebelsterne in Sternhaufen mit sehr starker centraler Verdichtung verwandelten. Es ist unter diesen Umständen nicht rätlich, jetzt schon aus den Gestalten, unter welchen uns diese Gegenstände erscheinen, eine Kette von Hypothesen über die Natur derselben aufzustellen, da wir nicht wissen können, was für unerwartete, vielleicht ganz ungeahnte Umformungen eine abermalige Vergrößerung der optischen Kraft unserer Fernrohre an ihnen bewirken wird.

W. Herschel glaubte aus seinen Wahrnehmungen sich zu dem Schlusse berechtigt, daß nicht alle Nebelflecke Sternhaufen seien, sondern daß wir in einem Teile derselben noch Urmaterie auf verschiedenen Stufen ihres Wachstumes und ihrer Ausbildung erblicken. Er versuchte auch in den einzelnen Klassen von Nebeln die verschiedenen aufeinander folgenden Metamorphosen zu verfolgen, durch welche aus dem formlosen, weit verbreiteten Urnebel nach und nach die Himmelskörper bis zur letzten und höchsten Stufe sich ausbilden bis zu dem eigentlichen, abgerundeten, nebellosen, im reinsten Lichte strahlenden Sterne, ja bis zu jenen herrlichen Gruppen, wo Tausende von diesen vollendeten Sternen in einem verhältnismäßig eng abgeschlossenen Raume sich in ewig ungestörter Harmonie um einander bewegen. In den blassen, über weite Strecken ausgedehnten formlosen Nebeln glaubte er den chaotischen Urstoff zu erblicken, welcher sich nach und nach durch die Anziehung überwiegender Stellen desselben in einzelne Teile trennt, deren Gestalt zwar noch unbestimmt, deren Licht aber schon kräftiger erscheint (§ 203). Wenn dann in diesen kleineren Nebeln, die man, ihrem Ursprunge gemäß, in ganzen großen Lagern beisammen findet, die Kon-

densation einzelner Punkte und die Anziehung der benachbarten Nebelmassen weiter fortgeschritten ist, finden wir diese isolierten Nebel schon kleiner, von ihren Nachbarn durch größere Zwischenräume getrennt (§ 206) und in noch späteren Stadien ihrer Entwickelung bereits gegen ihren Mittelpunkt allmählich an Helligkeit zunehmend. Hier hat sich die Lichtmasse des ganzen schon um eine Centralstelle angehäuft, aber diese Stelle selbst ist immer noch Nebel, ausgebreiteter und an seinen Grenzen unbestimmter Nebel (§ 204). Wieder andere, die viele Jahrtausende in ihrer Bildung jenen bereits vorausgeeilt sein mögen, haben sich schon zu einer nahe kugelförmigen Gestalt abgerundet, und ihr mehr verdichteter, daher kleinerer und hellerer Mittelpunkt nähert sich bereits dem eigentlichen Sternenlichte, aber dieser Kern ist mit einer dichten Atmosphäre umgeben, die bisher noch nicht von jenem Centralpunkte aufgenommen und absorbiert werden konnte (§ 207). In anderen Fällen sieht man zwei und selbst mehrere solcher vorherrschenden Stellen (§ 205), welche sich das Gleichgewicht halten, welche die sie umgebende Nebelmasse unter sich teilen oder auch vielleicht in einander übergehen werden u. s. w.

So wahrscheinlich nun auch diese Theorie scheinen mag, und so gewiß es auch ist, daß die Sternheere ebensowenig wie alle Werke der Natur plötzlich in derselben Gestalt entstanden, in welcher wir sie jetzt vor uns sehen, sondern im Gegenteile viele Millionen von Jahren nötig gehabt haben, um sich zu bestimmten und geregelten Formen zu erheben, haben dennoch die neueren, mit kräftigeren Hilfsmitteln angestellten Forschungen das Unhaltbare derselben nachgewiesen, indem sie viele von Herschel's typischen Nebelgestalten in ganz andere Formen übergeführt, ja sogar in Sternhaufen aufgelöst haben. Überhaupt hat jede Vergrößerung der optischen Kraft unserer Fernrohre, wie schon oben bemerkt wurde, die Zahl der Nebel, die sich nicht in Sterne auflösen lassen, vermindert, und es scheint demnach die Vermutung gerechtfertigt, daß sämtliche Nebel zu Sterngruppen würden, könnte man nur hinreichend starke Fernrohre in Anwendung bringen.

Gegen diese Auffassung der Sachlage, und für das Vorhandensein glühender Nebelmassen im Sinne Herschel's hat sich die Spektralanalyse entschieden ausgesprochen. Um diese Behauptung zu begründen, bemerken wir folgendes.

Das Spektrum eines Sternhaufens kann naturgemäß nur ein kontinuierliches sein, als entstanden aus der Übereinanderlagerung vieler einzelner Sternspektren. Diese Schlußfolgerung finden wir auch bei allen zweifellos in Sterne auflösbaren Sterngruppen bestätigt, deren Spektrum bereits untersucht worden ist. Von den im § 202 besprochenen Gebilden dieser Art besitzen ein kontinuierliches Spektrum unter Anderen:

AR = 204° 23′ D = + 28° 53′ im südl. Jagdhunde (auch § 214),
AR = 228 22 D = + 2 28 in der Wage (auch § 214),
AR = 249 31 D = + 36 39 die schöne Gruppe im Herkules,

AR = 277° 35′ D = − 24° 0′ im Schützen (auch § 214),
AR = 281 26 D = − 6 24 im Sobiesk. Schilde,
AR = 288 10 D = + 29 59 in der Leier.

Demgegenüber machte Huggins, 1864, als er das Licht einiger planetarischer Nebel mit Hilfe des Spektroskopes analysierte, die epochemachende Entdeckung, daß das Spektrum derselben bloß aus einigen wenigen isolierten hellen Linien bestehe, d. h. jene Form aufweise, welche das Spektrum leuchtender Gase besitzt.

Diese Entdeckung von Huggins haben alle späteren Untersuchungen bestätigt, mit der Ergänzung, daß in unseren heutigen, so wesentlich vervollkommneten, Apparaten in den Spektren mehrerer heller Nebel, wie in dem des großen Orionnebels, neben den gewöhnlichen noch eine größere Zahl anderer heller Linien, besonders solche von geringen Wellenlängen (blau und violett), zum Vorschein kommt.

Das Spektrum der Gasnebel besteht im Allgemeinen aus hellen Linien, zwei im grün, und je eine im blaugrün und im blau, welche beiden letzteren zweifellos dem Wasserstoffe angehören, während die Natur der übrigen 2 noch unbekannt ist. In Instrumenten mittlerer Größe verschwindet in der Regel die Wasserstofflinie im Blau, und es bleiben bloß drei im grün bis blaugrün sichtbar (Taf. XIV). Bei schwächeren Objekten werden von diesen drei Linien noch zwei weitere unsichtbar, so daß bloß eine einzige, die mit der größten Wellenlänge im grün (Taf. XIV die linke) übrig bleibt, welche man früher, aber fälschlich, allgemein für eine Stickstofflinie hielt.

Zu den Gasnebeln, d. h. solchen, die ein Linienspektrum besitzen, gehören unseren jetzigen Kenntnissen zufolge außer den großen unregelmäßigen Nebeln vom Typus des Orionnebels (wie der Nebel um η Argus, der Omega- und Dumbbell-Nebel u. s. w.) noch die planetarischen und ringförmigen Nebel. Für die letzteren ist das Linienspektrum so charakteristisch, daß solche Spektren schon wiederholt zur Entdeckung planetarischer Nebel geführt haben, deren Durchmesser so gering ist, daß ihre wahre Natur bisher verborgen geblieben war, weil sie bei oberflächlicher Betrachtung und ohne Anwendung starker Vergrößerungen nicht als Nebel erkannt werden konnten.

Wir haben nun diesen Himmel und seine Wunder gesehen. Aber vermessen wir uns nicht, diese Werke der Natur auch schon nach ihrer ganzen Größe erkannt zu haben. Was wir sahen, so groß es auch erscheinen mag, ist doch sicherlich nur ein sehr kleiner Teil von dem, was noch keinem menschlichen Auge erreichbar war; ist nur der Vorhof des unendlichen Tempels, den noch kein Sterblicher, auch nicht mit den höchsten Mitteln der Kunst und Wissenschaft durchdrungen hat. Wer mag uns sagen, wie viele Welten noch jenseits von denen stehen, die wir, selbst durch unsere stärksten Teleskope, nur mehr als schwache, dämmernde Wolken erblicken? Das Licht braucht, seiner entsetzlichen Geschwindigkeit ungeachtet, Jahrtausende, um von einzelnen Gestirnen bis zu uns zu kommen

und vielleicht konnte es von vielen derselben seit der Zeit, die unsere Erde steht, noch nicht bis zu uns gelangen. Wer weiß es, ob auch nur zu Alexander's oder Moses' Zeiten dort oben alles so gewesen ist, wie wir jetzt es sehen, oder ob nicht vielleicht, nach anderen Jahrtausenden, der ganze Himmel sich mit neuen Sonnen überziehen wird, die zwar schon längst da waren, aber die noch nicht Zeit gehabt haben, uns ihr Licht zuzuschicken, sowie vielleicht im Gegenteile andere Systeme ebenso lange schon erloschen und in ihr Nichts zurückgekehrt sind, obgleich wir sie noch immer am Himmel glänzen sehen, bis endlich auch der letzte Strahl, den sie ausgesendet haben, zu uns gelangen wird? So sehen wir, wohin wir unsere Blicke wenden, Himmelskörper ohne Zahl, und selbst in jenen Fernen, wohin unsere Fernrohre nicht mehr dringen, selbst dort, wo alles Licht erlischt, wo auch das schärfste Auge nichts als Nacht erblicken würde, — auch dort noch öffnen sich andere, ebenso unabsehbare Räume, und auch *diese* sind wieder von neuen Welten erfüllt.

Bientôt à mes regards des cieux inconnus s'ouvrent,
Des régions sans fin devant moi se découvrent;
Carrière illimitée où, par les mêmes lois,
Mille Univers flottans se meuvent à la fois.
Je vois de touts côtés, dans ces plaines profondes
Autour d'autres soleils, graviter d'autres mondes,
Et lorsque, pour peupler les espaces déserts,
Je suis las d'enfanter de nouveaux univers,
Le Vide encore s'étend et, dans son sein immense,
Par-delà l'Infini, l'Infini recommence.

Lebrun.

Dritte Abteilung.

Physische Astronomie

oder

Gesetze der himmlischen Bewegungen.

Kapitel I.

Allgemeine Schwere.

§ 1. (Momentan- und kontinuierliche Kräfte.) Die Kräfte, mit welchen die Körper auf einander wirken, äußern sich auf zweierlei wesentlich verschiedene Art. Die einen wirken nur zwischen den kleinsten Atomen eines und desselben Körpers: ihr Wirkungskreis ist daher, in Beziehung auf dessen Ausdehnung im Raume, sehr beschränkt, und sie erzeugen dadurch das, was wir Zusammenhang, Festigkeit und Dichte dieser Körper nennen. Die anderen aber wirken von einem Körper zum andern, selbst auf sehr große Entfernungen, und diese sind es, welche deren Bewegungen um und gegen einander hervorbringen. Jene Kräfte nennt man die Molekular-Anziehung, während diese die allgemeine Attraktion, Schwere oder Gravitation genannt wird.

Die letztere, uns hier vor allem interessierende Kraft, die allgemeine Attraktion, müssen wir zunächst wohl von einem Impulse oder von einem bloßen Stoße unterscheiden. Wenn wir einen Körper mit der Hand stoßen oder werfen, oder wenn wir ihm durch einen Stab, Hammer u. dgl. irgend eine Bewegung beibringen, so wirkt diese Kraft nur einen Augenblick auf ihn, nur so lange, als dieser Stoß dauert, nach welchem dann der Körper gleichsam sich selbst überlassen bleibt, während die Schwere beständig auf denselben fortwirkt. Die erste Art von Kräften bezeichnet man daher als Momentan-Kräfte, die Schwere hingegen als eine kontinuierliche Kraft.

Infolge einer Momentan-Kraft, z. B. eines Stoßes, nimmt der Körper eine Bewegung an, deren Richtung die des Stoßes und deren Größe immer die-

selbe bleibt, wenn in der That sonst keine andere Kraft auf ihn wirkt. Die Bewegung eines bloß durch eine Momentan-Kraft bewegten Körpers muß also erstens geradlinig und zweitens gleichförmig sein, d. h. er muß sich immer mit derselben Geschwindigkeit in einer geraden Linie, und zwar ohne Ende fortbewegen. Eine solche Bewegung können wir auf unserer Erde freilich nicht nachweisen, weil alle Körper, denen wir durch unsere mechanischen Kräfte einen augenblicklichen Impuls beibringen, auch zugleich der Kraft der Erde ausgesetzt sind, und weil sie überdies sich in der Luft oder einem anderen widerstehenden Mittel bewegen, daher außer jenem Impulse auch noch anderen Kräften ausgesetzt sind, welche die von demselben erzeugte Bewegung in einem fort hindern und ändern.

Wirkt auf einen bewegten Körper eine kontinuierliche Kraft, so wird dieselbe dessen Bewegung fortwährend beeinflussen, sie beständig verändern und dadurch zu einer Bewegung umgestalten, welche mit ungleichförmiger Geschwindigkeit und in einer krummen Linie vor sich geht. Nur wenn die kontinuierliche Kraft auf den Körper gerade in der Richtung seiner Bewegung wirkt, bleibt die von ihm beschriebene Bahn eine gerade Linie, die aber mit ungleichförmiger Geschwindigkeit beschrieben wird. Dies tritt beim freien Falle der Körper ein, der einfachsten Art einer Bewegung durch kontinuierliche Kräfte, die wir auf unserer Erde beobachten können.

§ 2. (Freier Fall der Körper auf der Oberfläche der Erde.) Wenn wir einen Stein oder einen Körper überhaupt seiner Unterstützung berauben, sehen wir ihn sogleich in einer auf die Erdfläche senkrechten, d. h. vertikalen, Richtung zur Erde gehen und zwar mit rasch wachsender Geschwindigkeit.

Allein in welchem Verhältnisse nimmt diese Geschwindigkeit mit der Zeit zu? — Wir werden, wie dies so oft in den Naturwissenschaften und besonders in der Astronomie geschieht, irgend eine angemessene Hypothese annehmen und zusehen, ob damit die beobachteten Erscheinungen erklärt werden können, dabei aber der Einfachheit wegen vom Widerstande der Luft sowie einstweilen auch von gewissen Einflüssen der Erdrotation absehen.

Die einfachste und natürlichste Hypothese ist ohne Zweifel die, daß der Mittelpunkt der Erde eine konstante und immer fortwirkende Kraft besitzt, mit welcher er die Körper in der Richtung des Halbmessers, d. h. in einer auf die Erdoberfläche senkrechten Richtung an sich zieht.

Nehmen wir nun an, daß der Körper von dem Momente an, wo er sich zu bewegen anfängt, bis zum Ende der ersten Sekunde eine Geschwindigkeit erhalten habe, vermöge welcher er, wenn nun keine Kraft weiter auf ihn wirkte, in jeder nächstfolgenden Sekunde gleichförmig, z. B g Fuß zurücklegen würde, so würde die Kraft der Erde, weil sie eine konstante sein soll, seine bereits erlangte Geschwindigkeit in jeder folgenden Sekunde in eben dem Maße vermehren, wie in der ersten. Er würde deshalb am Ende der zweiten Sekunde eine Geschwindigkeit von 2 g, am Ende der dritten von 3 g Fuß, u. s. w. erlangt haben.

Nennt man also überhaupt v die nach t Sekunden erreichte Geschwindigkeit, so ist sehr einfach:

$$v = gt$$

Diese Gleichung drückt den Satz aus, daß unter der Voraussetzung einer konstanten Kraft der Erde die Geschwindigkeiten der frei fallenden Körper sich wie die während des Fallens verflossenen Zeiten verhalten, oder daß diese Geschwindigkeiten den Zeiten proportional sind. Man nennt dies eine gleichförmig beschleunigte Bewegung, weil sie gleichförmig mit der Zeit wächst.

Allein wir wünschen in der Regel nicht bloß die Geschwindigkeiten, sondern auch den Raum zu kennen, den ein Körper am Ende einer bestimmten Zeit zurücklegte.

Zu diesem Zwecke wollen wir zuerst bemerken, daß der Körper unserer Annahme gemäß, im Anfange der ersten Sekunde gar keine Geschwindigkeit besaß, da er aus der Ruhe seine Bewegung anfing, am Ende derselben aber die Geschwindigkeit von g Fuß hatte. Setzen wir nun voraus, daß er während dieser ersten Sekunde immer dieselbe Geschwindigkeit gehabt und mit ihr doch den Raum durchlaufen habe, den er in der That während seines Falles zurückgelegt hat, so muß diese gleichförmige Geschwindigkeit das Mittel aus den beiden sein, die er am Anfange und am Ende der ersten Sekunde hatte: d. h. sie muß gleich $^1/_2$ g gewesen sein.

Im Anfange der zweiten Sekunde hatte er die Geschwindigkeit g und am Ende derselben nach dem Vorhergehenden die Geschwindigkeit 2 g. Er würde also denselben Raum, den er im freien Falle während der zweiten Sekunde zurückgelegt hat, auch mit der mittleren Geschwindigkeit, $^3/_2$ g in gleichförmiger Bewegung zurückgelegt haben. Ebenso würde er in der dritten Sekunde mit der Geschwindigkeit $^5/_2$ g, die das Mittel aus 2 g und 3 g ist, denselben Raum wie im freien Falle zurücklegen. Er fällt also:

in der	ersten	Sek.	durch den	Raum	$^1/_2$ g	also	in einer	Sek.	durch	$^1/_2$ g
=	zweiten	=	=	=	$^3/_2$ g	=	zwei	=	=	$^4/_2$ g
=	dritten	=	=	=	$^5/_2$ g	=	drei	=	=	$^9/_2$ g
=	vierten	=	=	=	$^7/_2$ g	=	vier	=	=	$^{16}/_2$ g

u. s. w.

Diese kleine Tafel zeigt auf den ersten Blick das Gesetz, nach welchem die letzten Zahlen derselben, d. h. nach welchem die von dem Körper in 1, 2, 3 . . Sekunden durchlaufenen Räume fortgehen. Man sieht nämlich, daß man für jede willkürliche Anzahl t Sekunden den ihr entsprechenden Raum durch $^1/_2$ gt^2 ausdrücken muß, so daß also die Räume, welche die Körper in ihrem freien Falle gegen die Erde zurücklegen, sich wie die Quadrate der Zeiten verhalten.

Bei diesen Deduktionen haben wir angenommen, daß die Impulse der Erdkraft in Zwischenzeiten von je einer Sekunde erfolgen, während diese Kraft doch ununterbrochen wirksam ist. Allein dieselben Schlüsse würden, was die

Endgeschwindigkeit betrifft, offenbar auch dann noch in ganz gleicher Weise gelten, wenn wir für das Intervall oder die Dauer der Impulse nur den hundertsten Teil einer Sekunde angenommen hätten. Immer würden wir wie dort gefunden haben, daß, wenn die Kraft der Erde beständig ist, auch der Zuwachs der Geschwindigkeit des fallenden Körpers beständig sein oder daß sich diese Geschwindigkeit wie die Zeit verhalten muß. Je kleiner wir aber die Zwischenräume annehmen, desto mehr wird sich die Bewegung eines Körpers in dieser Zeit der gleichförmigen nähern, und daher auch unsere zweite Voraussetzung, daß die Bewegung innerhalb eines solchen Zwischenraumes mit einer mittleren Geschwindigkeit vor sich gegangen sei, immer zutreffender werden.

Bei dem freien Falle der Körper verhalten sich also die Geschwindigkeiten wie die Zeiten und die durchlaufenen Räume wie die Quadrate der Zeiten, während welcher der Fall dauert. Behält man daher die vorhergehenden Bezeichnungen von g, v und t bei, und nennt man s den Raum, den der Körper in t Sekunden zurücklegt, so hat man die beiden einfachen Ausdrücke:

$$v = gt \text{ und } s = \tfrac{1}{2} gt^2,$$

aus welchen man leicht noch den folgenden dritten:

$$v^2 = 2gs$$

ableiten wird. Mit Hilfe dieser Ausdrücke kann man sehr leicht eine Menge interessanter Fragen über den freien Fall der Körper beantworten, beispielsweise die folgenden.

Das höchste von Menschenhand errichtete Gebäude ist der Eiffelturm in Paris, dessen Spitze eine Höhe von 300 m über dem Boden hat. Nimmt man wie oben die Sekunde, d. h. den 86400sten Teil eines mittleren Tages als Zeiteinheit an, so beträgt der Fall der Körper während der ersten Sekunde in unseren Breiten 4·905 m. Diese Größe ist also vermöge der zweiten unserer Gleichungen, gleich $\frac{1}{2} g$, so daß die Größe g selbst 9·810 m (I § 15) beträgt. Mit diesem Werte von g findet man aus derselben zweiten Gleichung, wenn man in ihr $s = 300$ setzt, daß ein Stein von der Spitze des Eiffelturmes bis zum Boden in $7\frac{3}{4}{}^s$ fallen, und daß er daselbst mit einer Geschwindigkeit ankommen würde, mit welcher er, wenn er nun gleichförmig fortginge, in jeder Sekunde einen Weg von 76 m zurücklegen müßte.

Der höchste bekannte Berg der Erde, der Gaurisankar in Indien, soll 8850 m über die Meeresfläche sich erheben. Von seinem Gipfel würde daher ein Stein in vertikaler Richtung erst nach $42\frac{1}{2}{}^s$ an der Meeresfläche, und zwar mit einer Geschwindigkeit von 416·6 m ankommen. Diese Endgeschwindigkeit ist schon bedeutend größer als die des Schalles, die nur 332 m in einer Sekunde beträgt.

Der Mond ist in seiner mittleren Distanz 384 400 km oder 384 400 000 m von der Erde entfernt. Wenn wir daher die Kraft der Erde auch in dieser Entfernung noch gleich der an ihrer Oberfläche annehmen und überdies voraussetzen dürften, daß der Mond nicht eine ähnliche Anziehung wie unsere Erde

auf die ihn umgebenden Körper ausübe, so würde, wie unsere Gleichungen zeigen, ein von dem Monde in gerader Linie zur Erde fallender Stein die letzte erst in 8854^s oder in $2^h\ 27^m\ 34^s$ erreichen und auf derselben mit einer Geschwindigkeit von 8680 m anlangen.

Allein diese Voraussetzungen sind sehr gewagt und äußerst unwahrscheinlich. In der That, wenn unsere Erde eine Kraft besitzt, mit welcher sie alle Körper an sich zieht, warum sollten der Mond, die Sonne und überhaupt alle anderen Körper der Natur einer solchen Kraft beraubt sein? Welche Vorrechte soll irgend ein Körper vor allen anderen ansprechen dürfen? Und wenn sie in der That alle eine solche Kraft besitzen, durch welche sie selbst auf sehr entfernte Körper noch eine Wirkung äußern, welchen Grund hat man, vorauszusetzen, daß diese Kraft in allen, in großen und kleinen Entfernungen immer dieselbe bleiben soll? Diejenigen Entfernungen von der Erdoberfläche, die Berge und Höhlen derselben, an welchen wir unsere Beobachtungen noch anstellen können, sind gegen den Halbmesser der Erde so klein, daß sie ohne merklichen Fehler alle als gleich groß, und daß also auch die auf sie wirkende Kraft der Erde durchaus als dieselbe oder als eine konstante Kraft angesehen werden kann. Sollte dies aber in größeren Distanzen nicht der Fall sein, nach welchem Gesetze ändert sich dann diese Kraft in verschiedenen Entfernungen?

§ 3. (Vorgänger Newton's.) Ehe wir jedoch zur Beantwortung dieser Frage schreiten, deren Beantwortung wir Newton verdanken, wollen wir ein paar Bemerkungen vorausschicken, da unter allen Entdeckungen im weiten Felde der Wissenschaften wohl die glänzendste und einflußreichste die der allgemeinen Schwere ist, welche das Gesetz enthält, dem alle Himmelskörper unseres Sonnensystems und, wie es scheint, alle Körper des Weltraumes überhaupt gehorchen.

Die sogenannte Weltgeschichte, worunter wir gewöhnlich die der Regenten und der von ihnen geführten Kriege verstehen, ist in mehr als einer Beziehung sehr verschieden von der Geschichte der menschlichen Kultur. In jener gehen die großen Epochen gewöhnlich nur von Einem Menschen aus, und sie sind nur zu oft von den heftigsten Erschütterungen begleitet. Plötzlich erhebt sich, nicht selten aus dem Staube der Verborgenheit, der Friedensstörer. Trotzend seiner Zeit und ihren Ansichten, ja allen göttlichen und menschlichen Gesetzen Hohn sprechend, selbst den Kampf mit den Elementen und den Geistern des Schicksals nicht scheuend, verbreitet er sich mit seinen Heeren über ganze Länder und Weltteile und tritt das Glück der Völker unter seine Füße, um auf den Trümmern desselben seiner Dynastie einen Thron und sich selbst am Ende seiner Thaten die Verwünschung der Nachwelt oder auf einer wüsten Insel im Weltmeere ein enges Grab zu erobern.

Nicht so in dem großen Reiche der Wissenschaften, deren Wachstum nur langsam und, die blutlosen Fehden der Gelehrten etwa ausgenommen, immer friedlich vor sich geht, und wo nur selten oder nie der Einzelne, ohne Hilfe der

Anderen, eine neue Epoche begründen kann. Die meisten großen Conceptionen, deren unsere Kulturgeschichte erwähnt, sind nur scheinbar von einem einzigen Manne ausgegangen. Denn nicht nur die eigentliche Ausführung, die immer fremder Hände bedarf, sondern die erste Idee selbst entsprang gewöhnlich nur aus verwandten Gedanken mehrerer vorhergegangener Geister. In der That findet man, daß beinahe jede große Revolution in dem Gebiete der Kultur von einer Art allgemeiner geistiger Fermentation eingeleitet worden ist, die alle besseren Köpfe des Jahrhunderts, wie durch einen höheren Instinkt getrieben, auf denselben Gegenstand gerichtet hat. Anfangs klein und unbemerkbar, nimmt das Gedränge allmählich zu um jenen Punkt, wo der Schatz begraben liegt; zuerst Einzelne, dann Mehrere rütteln an dem verschlossenen Thore, bis endlich, wenn alle Vorbereitungen erschöpft sind, der Sohn des Glücks hervortritt aus der Menge und mit einem Drucke seiner Hand die Riegel sprengt, wo dann sofort aus der weit geöffneten Pforte ein Strom von Licht sich ergießt, der die ganze unbekannte, früher in tiefe Nacht begrabene Gegend mit den milden, wohlthätigen Strahlen der Wahrheit und der Erkenntnis erleuchtet.

So war es auch hier. Auch Newton steht nicht allein, nicht ohne Hilfe und Beirat von anderen da: viele treffliche Männer gingen ihm voraus und bahnten ihm den Weg zu seinem hohen Ziele.

Nahe zwei Jahrhunderte vor der Entdeckung, von welcher wir hier sprechen, hatte uns Kopernikus (geb. 1472, gest. 1543) die Bewegung der Erde und der Planeten in Bahnen gelehrt, deren gemeinschaftlicher Mittelpunkt die Sonne ist, und uns dadurch den Weg gezeigt, auf dem allein eine wahre Kenntnis des Himmels und ein Fortschreiten der Wissenschaft möglich war. Er gab uns das neue Testament der Astronomie, und Kepler (geb. 1571, gest. 1630) lieferte uns eine neue, wesentlich verbesserte Auflage desselben, indem er uns zeigte, daß sich die Planeten nicht in excentrischen Kreisen, welche auch Kopernikus noch beizubehalten gezwungen war, sondern in Ellipsen bewegen, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht. Aber noch war der Grund dieser Gesetze, gleichsam das einzige oberste Gesetz unbekannt, von welchem jene nur ein Ausfluß, eine bloße Folge sein sollten.

Kopernikus und Kepler gingen Newton in größerer Entfernung voraus. Es fehlte aber auch nicht an anderen, näheren Vorgängern, die der großen Entdeckung, durch die Newton sich unsterblich machte, oft nahe genug kamen. Bouillaud, ein Arzt in Frankreich, stellte in seiner Astronomia Philolaica, die im Jahre 1645 erschien, bereits den Satz auf, daß die Kraft, mit welcher die Sonne auf die Planeten wirkt, sich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung der Planeten von der Sonne verhalte. Dies war im Grunde Newton's Hauptsatz, aber da er nur als eine Hypothese vorgetragen und durch keine Beweise unterstützt war, so blieb er noch ohne weitere Folgen und wurde bald darauf wieder vergessen. Borelli's Werk über die Satelliten Jupiters, das im Jahre

1666 erschien, stellte ebenfalls die Ansicht auf, „daß die Bewegungen der Planeten um die Sonne nach denselben Gesetzen vor sich gehen müssen, nach welchen sich diese Satelliten in ihren Bahnen um die Hauptplaneten bewegen, und nach welchen zugleich der Mond um unsere Erde geht." Eine ebenso wichtige als richtige Bemerkung, die aber, aus derselben Ursache wie Bouillaud's Ansichten, ohne Früchte zu tragen wieder verloren ging.

Noch näher trat der Sache Robert Hooke, Newton's Zeitgenosse und Rivale, ein erfindungsreicher Kopf, der schon im Jahre 1666 der königlichen Akademie in London eine Abhandlung über die Abnahme der Schwere der Körper in verschiedenen Höhen über der Erde vorgetragen hatte. Im Mai desselben Jahres las er in dieser Akademie eine Abhandlung über die Bewegung der Planeten um die Sonne, in welcher er die Entstehung der krummen Bahnen der Planeten durch die Verbindung einer konstanten Tangentialkraft dieser Himmelskörper mit einer veränderlichen Centripetalkraft zur Sonne zu erklären suchte. In einer 1674 von ihm herausgegebenen Schrift stellt er die Sätze auf, „daß alle Himmelskörper eine gegen ihren Mittelpunkt gerichtete Anziehungskraft haben, wodurch sie nicht nur auf ihre eigenen Elemente, sondern auch auf alle anderen Körper außer ihnen wirken; daß die anziehenden Kräfte desto stärker sind, je näher die angezogenen Körper stehen" u. s. w.

Allein alle diese und ähnliche Ideen, die einer genauen und fortgesetzten Betrachtung würdig gewesen wären, wurden nur eben hingeworfen, ohne sie weiter zu verfolgen. Dieses Verfolgen des ersten flüchtigen Gedankens, dieses Brüten über ihm ist es aber, was ihn zur Reife bringen und was allein die Wissenschaften wahrhaft fördern kann. Wußte doch Newton selbst die Anfrage seines Freundes Halley, auf welche Weise er zu seinen großen Entdeckungen gekommen sei, nur mit den wenigen, aber inhaltsschweren Worten zu erwidern: „Indem ich unablässig darüber nachdachte!"

Endlich wurde auch Huyghens oft auf demselben Wege gefunden. Huyghens (geb. 1625, gest. 1695) war ohne Zweifel einer der größten Geometer und der sinnreichsten Köpfe seiner und selbst aller Zeiten. Seine Theorie der Evolutionen, die von ihm entdeckten merkwürdigen Eigenschaften der Cycloide, seine Arbeiten über die Wahrscheinlichkeitsrechnung, sein erstes Aufstellen und Ausbilden der Theorie der Kreisbewegung und des Stoßes der Körper, seine Bestimmung des Schwingungspunkts der Pendel, seine wesentlichen Verbesserungen der Gewicht- und Federuhren, seine optischen Entdeckungen über die Natur des Lichtes, über die Theorie der Fernrohre, über die doppelte Strahlenbrechung des isländischen Kalkspats, selbst seine praktischen Verbesserungen der optischen Instrumente, mit welchen er den ersten Satelliten Saturns und den Ring dieses Planeten entdeckte, — alle diese und noch mehrere andere große Verdienste sichern ihrem Urheber eine der ausgezeichnetsten Stellen in der Geschichte der wissenschaftlichen Kultur, und es fehlte vielleicht nur ein Schritt, um ihm die erste, selbst

die vor Newton anzuweisen. Denn schon volle 15 Jahre vor der Bekanntmachung des Prinzips der allgemeinen Schwere durch Newton hatte Huyghens die oben erwähnten Eigenschaften der Centralbewegung der Körper in Kreisen in dreizehn Propositionen öffentlich vorgetragen, und wenn er den Einfall gehabt hätte, nur zwei dieser Propositionen unter sich zu verbinden und sie als ein Beispiel auf die Rotation der Erde um ihre Achse und auf die Bewegung des Mondes um die Erde anzuwenden (was Newton eigentlich später that und wodurch er eben auf seine große Entdeckung geführt wurde), so würde er der Schöpfer des neuen Systems geworden sein, Aber er versäumte es, diese Anwendung, diesen letzten Schritt zu machen, und auch er mußte daher die Palme des Ruhmes einem Andern, Glücklicheren Isaak Newton überlassen.

§ 4. (Veranlassung zur Entdeckung der Gravitation.) Isaak Newton wurde am 25. Dezember 1642 geboren. In seinem achtzehnten Jahre betrat er die Universität zu Cambridge, beinahe ohne alle jene vorbereitende Bildung, welche die Schüler dieses berühmten Instituts bei ihrem Eintritte in dasselbe mitzubringen pflegen, und wendete sich gleich im Anfange seiner Studien zur Mathematik. Seine Absicht dabei soll gewesen sein, die Irrtümer der Astrologie, die zu jener Zeit noch viele Anhänger zählte, auf geometrischem Wege zu widerlegen. Euklid's Werke lernte er nur eben kennen, um sie sogleich wieder aus der Hand zu legen. Er fand sie zu leicht und betrachtete die meisten der in ihnen enthaltenen Sätze nur als eben so viele Axiome, deren Wahrheit sich gleichsam von selbst versteht. Er wendete sich daher sogleich zu der viel schwereren Geometrie des Descartes, zu Wallis' Arithmetik des Unendlichen und Kepler's astronomischen Werken, welche er alle, die Feder in der Hand, las und woraus er sich Auszüge machte, die er bis an das Ende seines Lebens bewahrte. Man erkannte bald den Geist, der in ihm lebte, und im Jahre 1669 wurde er an des berühmten Barrow's Stelle Professor der Mathematik in Cambridge, eine Stelle, die er bis zu dem Jahre 1695 bekleidete, wo er zum Vorsteher der königlichen Münze in London berufen ward, welches sehr angesehene und einträgliche Amt er bis an sein Ende beibehielt, das am 20. März 1727 im 85sten Jahre seines Alters erfolgte.

Als im Jahre 1666 eine pestartige Krankheit die Umgegend von Cambridge verheerte, zog sich Newton auf einige Monate in seinen Geburtsort Woolsthorpe zurück, ein Dorf in Lincolnshire, etwa 7 km südlich von der Stadt Grantham. Hier soll ihn, als er eines Tages in seinem Garten saß, der Fall eines Apfels von einem nahen Baume auf die erste Idee der allgemeinen Schwere geleitet haben. Dieser Baum war lange ein Gegenstand der besonderen Beachtung aller Verehrer Newton's. Im Jahre 1726 wurde der morsche Stamm desselben von einem Sturme gestürzt und aus seinem Holze ein Stuhl verfertigt, der den Freunden des hingeschiedenen großen Mannes, wenn sie seine Geburtsstätte besuchen, noch jetzt mit einer Art von Andacht gezeigt zu werden pflegt. Wenn übrigens diese Erzählung von dem Apfel, die erst in den neuesten Zeiten wieder

mehrere Verteidiger gefunden hat, auch nicht ganz verbürgt sein sollte, so ist sie doch weder sehr unwahrscheinlich noch die einzige ihrer Art. Auch Galilei soll durch den Anblick einer im Kirchendome zu Pisa schwingenden Lampe auf die Theorie des Pendels und dadurch auf die eigentliche Begründung der Mechanik geführt worden sein, einer Wissenschaft, deren Schöpfer er ist und von welcher die Alten nicht einmal eine Ahnung hatten.

Warum fällt der Apfel und überhaupt jeder Körper, wenn er nicht gehalten oder unterstützt wird? War die erste Frage, die sich Newton beim Falle desselben aufdrängte. Da der Apfel immer in einer senkrechten Richtung zur Erde hin fällt, so scheint in dieser Erde etwas zu sein, das ihn an sich zieht. Dieses Etwas, diese Kraft, wie wir es nennen wollen, auf welche Weise, nach welchem Gesetze wirkt sie auf den fallenden Körper? Und wie weit erstreckt sie sich von der Erde? Wenn sie z. B. bis zu dem Monde reichen sollte, welche Wirkung äußert sie auf diesen Himmelskörper? Der Mond hängt doch offenbar mit der Erde zusammen, so wie ein fallender Stein, da er, wenn er gleich nicht zur Erde fällt, sich doch um sie bewegt. Sollte vielleicht diese Bewegung eine Folge jener Kraft der Erde sein, die den Stein zu ihr fallen macht? Und wenn dies zugegeben wird, dürfte man dann nicht noch weiter gehen und dieselben Schlüsse auch auf diese Erde selbst, ja auf alle übrigen Planeten unseres Sonnensystems anwenden? Die Erde und die Planeten bewegen sich in der That, wie Kopernikus gezeigt hat, alle um die Sonne, ganz so, wie sich der Mond um die Erde bewegt. Wird nun der Mond zu seiner Bewegung durch jene Kraft der Erde gezwungen, könnten nicht auch die Erde und alle Planeten zu ihrer Bewegung um die Sonne durch eine ähnliche, in der Sonne wohnende Kraft gezwungen werden?

Große Fragen fürwahr, da offenbar von ihnen die Kenntnis der Organisation unseres Planetensystems abhängt. Und alles dies wegen eines Apfels, der zufällig vor uns zur Erde fällt! Wie viele Millionen, seit die Erde steht, sahen so gut wie Newton Körper fallen, ohne dadurch auf solche Fragen geführt zu werden, ja ohne dabei auch nur überhaupt etwas zu denken!

Und doch — es sind zunächst nur Fragen, Meinungen, Hypothesen und nichts weiter. Es hat wohl immer, in alten und neuen Zeiten, Menschen gegeben, die bei solchen Gelegenheiten auf ähnliche Fragen kamen. Kepler, Hooke, Huyghens waren dem obigen zufolge Männer, die sich gewiß, wenn auch nicht eben diese, doch sehr ähnliche Fragen vorgelegt haben müssen: aber es fehlten ihnen die Mittel, diese Fragen auf ihre Wahrheit näher zu untersuchen, und sie auf dem allein untrüglichen Probirstein der Rechentafel zu prüfen. Deshalb blieb die Sache eine Meinung, eine Hypothese, die keine Folgen, keine Früchte hatte, und es wäre, wie wir sehen werden, an einem solchen Mangel auch Newton fast gescheitert.

Die nähere Untersuchung dieses Gegenstandes fordert nämlich 4 Dinge, die

vorerst bekannt sein mußten: 1. Das Gesetz, nach welchem jene Kraft wirkt, 2. die Kenntnis der Umlaufszeit und Entfernung des Mondes, 3. die der wahren Größe der Erde, und 4. die des Gesetzes, nach welchem die Erde auf Körper an ihrer Oberfläche wirkt.

§ 5. (Wie die Attraktion wirkt.) Das erste also, was Newton kennen mußte, war das Gesetz, nach welchem die Kraft der Erde, wenn sie überhaupt existiert, auf nahe und ferne Gegenstände wirkt. An der Oberfläche der Erde fallen die Körper (nach § 2) in der ersten Sekunde durch 4·9 m, und es scheint, als ob diese Größe dieselbe für alle Orte der Oberfläche der Erde und selbst für alle Höhen und Tiefen wäre, zu welchen wir noch gelangen können. Newton ließ sich aber durch diesen Umstand in seiner Überzeugung nicht irre machen, daß sie in größeren Entfernungen immer kleiner werden müsse: derselbe bestärkte ihn nur in seiner Ansicht, daß die Kraft der Erde, weil sie selbst in der Entfernung von mehreren Kilometern noch immer dieselbe zu sein scheint, groß genug sein dürfte, um auch in der Distanz des Mondes noch bemerkbare Wirkungen auf diesen Himmelskörper auszuüben.

Man kann sich die Anziehungskraft der Erde wohl am einfachsten als ein Strahlenbüschel vorstellen, dessen einzelne Linien alle aus dem Mittelpunkte der Erde auslaufen, wie etwa die Strahlen eines Lichtes, das in dem Mittelpunkte dieser Erde seinen Sitz hat. Denkt man sich eine hohle Kugelfläche, deren Halbmesser z. B. 1000 m beträgt, und deren Mittelpunkt mit jenem der Erde zusammenfällt, so wird die innere Fläche dieser Kugelschale von jenem Lichte mit einer gewissen Stärke beleuchtet werden. Wenn aber der Halbmesser dieser Kugel noch einmal so groß, also gleich 2000 m wäre, so fällt jetzt alles Licht, welches früher die kleinere Kugel beschien, auf die größere; aber da ihre Oberfläche größer ist, wird sie nun von diesem Lichte schwächer erleuchtet werden, und zwar genau sovielmal schwächer, als die Oberfläche der zweiten Kugel größer ist als die Oberfläche der ersten. Da sich aber die Oberflächen von Kugeln bekanntlich wie die Quadrate ihrer Halbmesser verhalten, so wird die Fläche der zweiten Kugel, deren Halbmesser 2mal so groß ist, als jener der ersten, auch 2mal 2 oder 4mal schwächer erleuchtet werden. Ebenso wird für eine Kugel von einem 3mal so großen Halbmesser als die erste die Beleuchtung 3mal 3 oder 9mal, für einen 4mal so großen Halbmesser 16mal schwächer sein u. s. w., kurz, die Beleuchtung wird abnehmen, wie das Quadrat der Entfernung zunimmt, oder, was dasselbe ist, die Beleuchtung dieser inneren Kugelschale, in jedem einzelnen Punkte ihrer Oberfläche, wird sich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung verhalten.

Dasselbe wird also auch wohl von der Anziehung der Erde auf alle Körper außer ihr gelten, wenn anders die Voraussetzung richtig ist, daß Licht und Attraktion sich auf gleiche Weise von ihren Centralkörpern aus verbreiten. Sie ist allerdings die natürlichste und einfachste, die man wählen kann, und Newton

machte sie überdies nicht ganz aufs Geratewohl und bloß auf die durch nichts bewiesene Analogie mit dem Lichte hin. Er hatte noch einen anderen, besseren Grund, und diesen verdankte er den Vorarbeiten Kepler's und Huyghens', deren Entdeckungen er nun zu seinem Zwecke benutzen konnte.

Kepler hatte nämlich im Jahre 1618 durch sehr mühsame und jahrelang mit seltener Ausdauer fortgeführte Rechnungen gefunden, daß die Quadrate der Umlaufszeiten der Planeten um die Sonne sich wie die Würfel der Halbmesser ihrer Bahnen verhalten (I. Abt., § 77). Huyghens aber hatte unter den oben erwähnten 13 Propositionen auch den Satz aufgestellt, daß bei den in Kreisen umlaufenden Körpern die Quadrate ihrer Umlaufszeiten sich verhalten wie die Halbmesser dieser Kreise, dividiert durch den Druck, welchen diese Körper senkrecht auf die Peripherie ihrer Bahn ausüben. Dieser Druck muß als die Kraft angesehen werden, welche, indem sie gegen den Mittelpunkt des Kreises gerichtet ist, eben diese Kreisbewegung des Körpers erzeugt. Verbindet man daher diese beiden Sätze mit einander, so folgt, daß bei allen Kreisbewegungen der Druck der bewegten Körper, d. h. die im Mittelpunkte dieser Kreise wohnende bewegende oder anziehende Kraft sich verhalten muß wie verkehrt das Quadrat dieses Halbmessers, d. h. also wie verkehrt das Quadrat der Entfernung des angezogenen Körpers von dem anziehenden Mittelpunkte, und dies ist eben der Satz, welchen wir oben für die Attraktion der Körper überhaupt aus der Analogie derselben mit dem Lichte abgeleitet haben. Newton kannte aber außer den Gesetzen Kepler's auch diese Proposition und benutzte sie zu seinem Zwecke, wie er dies selbst in einem seiner späteren Briefe an Halley angiebt.

Nimmt man also das eben betrachtete Gesetz der Abnahme der Anziehungskraft der Erde als richtig an, so läßt sich leicht berechnen, wie tief ein Körper in irgend einer Entfernung von der Oberfläche der Erde in einer Sekunde fallen wird. Denn der senkrechte Fall eines Körpers zur Erde ist die Wirkung jener Kraft und kann selbst für das eigentliche Maß dieser Kraft genommen werden. Der Fall wird daher für jede in Halbmessern der Erde gegebene Entfernung gleich sein der Zahl 4·9 d. i. der Größe seines Fallraumes an der Oberfläche der Erde dividiert durch das Quadrat dieser Entfernung. Darnach würde beispielsweise auf dem Gipfel des schon mehrmals genannten Gaurisankar, der bei seiner Höhe von 8850 m eine Entfernung von 1·0014 Erdhalbmessern vom Mittelpunkte der Erde besitzt, der Fall eines Körpers während der ersten Sekunde 4·9 dividiert durch das Quadrat der obigen Zahl, oder 4·885 m betragen, d. h. nur 15 mm weniger als am Niveau des Meeres. Eine so geringe Verschiedenheit konnte allerdings durch Beobachtungen um so weniger entdeckt werden, als die Spitze des Berges noch nie erreicht wurde und in geringeren Höhen der Unterschied noch viel unerheblicher ist: man setzte daher zu Newton's Zeiten nicht ohne Berechtigung die Schwere an allen Orten der Erde gleich groß voraus.

Wenn aber ein Körper um den ganzen Halbmesser der Erde über die Oberfläche derselben gebracht werden könnte, so würde er in dieser Entfernung, welche die doppelte von jener an der Oberfläche ist, in einer Sekunde nur mehr durch den vierten Teil von 4·9 oder nur durch 1·23 m fallen. In einer Distanz von drei Erdhalbmessern von dem Mittelpunkte der Erde wird er durch den neunten Teil jener Größe oder durch 0·53 m, in einer 10mal größeren Entfernung nur durch den hundertsten Teil oder durch 0·049 m fallen u. s. w. Wenn also derselbe Körper bis in den Ort, wo der Mond ist, d. h. wenn er in die Entfernung von 60·2778 Erdhalbmessern von dem Mittelpunkte der Erde gebracht würde, so würde er daselbst in der ersten Sekunde durch 4·9 dividiert durch das Quadrat von 60·2778, das heißt nur mehr durch 0·00135 m oder 1·3 mm zur Erde fallen.

Dies Resultat ist völlig gewiß, falls die obige Voraussetzung, auf welche sich die Rechnung gründet, richtig ist. Ob sie dies aber auch in der That sei, soll eben hier entschieden werden, und zwar durch unmittelbare Beobachtungen am Monde selbst.

§ 6. (Wirkung der Attraktion der Erde auf ruhende und bewegte Körper.) Wie sollen uns aber Mondbeobachtungen zeigen, daß dieser Himmelskörper in der That in jeder Sekunde so viel zur Erde fällt, obgleich wir ihn eigentlich überhaupt garnicht fallen sehen. Um diese Frage zu beantworten, müssen wir in unserer Untersuchung wieder einige Schritte zurückgehen.

Wenn der Mond durch irgend eine mächtige Hand festgehalten und dann plötzlich losgelassen würde, so müßte er in einer geraden Linie zur Erde fallen und sich ihr, wie wir gesehen haben, in der ersten Sekunde um 0·00135 m nähern. Allein jene unsichtbare Hand muß ihn, als sie ihn sich selbst, oder vielmehr der Wirkung der Erde überließ, mehr als nur losgelassen, sie muß ihn geworfen haben, und die Richtung dieses Wurfes darf nicht auf die Erde zu, sondern muß seitwärts gegangen sein, weil sonst der Mond in einer geraden Linie zur Erde herabgefallen wäre und sie nicht, wie er es doch thut, umkreisen könnte.

Die Existenz dieser Bahn, die uns vor Augen liegt, führt uns daher auf zwei Voraussetzungen, ohne welche sie sich nicht als möglich denken läßt. Der Mond muß nämlich von zwei verschiedenen Kräften in Bewegung gesetzt werden, von einer ersten ursprünglichen, von einer Wurfkraft, und von der im Mittelpunkte seiner Bahn ruhenden Centralkraft oder von der Anziehungskraft der Erde. Jene war eine nur im ersten Augenblicke wirkende, gleich der eines Stoßes, diese aber ist eine immerwährend thätige und noch jetzt in jedem Augenblicke wirkende Kraft. Jene konnte alle möglichen Richtungen haben, nur nicht gerade die zur Erde hin, weil sonst der Mond auf die Erde gefallen wäre; diese aber hatte und hat noch ihre Richtung gegen den Mittelpunkt der Erde. Jene allein würde den Mond in irgend einer geraden Linie im Weltraume fortgeführt, und diese allein würde ihn ebenfalls in einer geraden, aber zur Erde gerichteten Linie auf

diese geworfen haben: beide zusammen endlich leiten ihn in der krummen Linie, die er eben, wie wir sehen, um die Erde beschreibt.

Die Kraft der Erde also erscheint in ihrer Wirkung bei der Bewegung des Mondes nicht mehr rein, sondern mit der Wirkung jener Wurfkraft, jenes Stoßes vermischt, welchen der Mond im Anfange seiner Bewegung erhalten haben muß, damit er die Bahn, die wir an ihm beobachten, in der That beschreiben kann. Es wird daher, ehe wir an die eigentliche Auflösung unseres Problems gehen, notwendig sein, diese Mischung wieder aufzuheben und aus der so zusammengesetzten Bewegung des Mondes denjenigen Teil herauszusuchen, der, so wie jener Fall des Steines, bloß der Anziehung der Erde angehört.

Zu diesem Zwecke werden wir also die Wirkung der Anziehung der Erde auf schon bewegte Körper untersuchen müssen. Glücklicherweise können wir diese Untersuchung auf der Oberfläche der Erde alle Tage und ohne alle Mühe anstellen. Wir sehen den Stein und überhaupt jeden Körper, wenn er aus der ruhenden Hand gelassen wird, senkrecht zur Erde fallen. Allein, wenn er von derselben Hand schief geworfen wird, fällt er nicht mehr in einer geraden Linie senkrecht herab, sondern beschreibt eine krumme Linie, die desto länger wird, je größer die Kraft war, mit welcher er geworfen wurde, wovon uns die Projektile unserer Feuergewehre ebenso bekannte als auffallende Beispiele geben.

Denken wir uns nun vor einer horizontal aufgestellten Kanone eine vertikale Wand in einer solchen Entfernung von der Mündung des Geschützes, daß die Kugel, wenn sie diese Mündung verläßt, jener Wand genau in der Zeit von einer Sekunde begegnet. Bemerken wir überdies zuerst denjenigen Punkt der Wand, der mit dem Mittelpunkte der Mündung in derselben Höhe liegt, oder den Punkt, welchen die Kugel treffen würde, wenn sie, ohne während ihres Laufes von der Erde angezogen zu werden, sich genau in horizontaler Richtung bewegen würde. Bemerken wir dann aber auch, nach dem Schusse, denjenigen Punkt der Wand, wo sie von der Kugel in der That getroffen wurde. Wo liegt dieser zweite Punkt? Genau 4·9 m unter dem ersten, also genau ebenso viel, als die Kugel in dieser ersten Sekunde frei gefallen wäre, wenn man sie, statt sie aus der Kanone zu schießen, bloß aus der umgewendeten Hand hätte fallen lassen.

Was sollen wir aus dieser merkwürdigen Übereinstimmung schließen? Offenbar, daß, wenn zwei Kräfte auf einen Körper wirken, jede derselben die gleiche Veränderung in ihm hervorbringt, die sie hervorgebracht haben würde, wenn sie allein auf ihn gewirkt hätte, oder wenn die andere gar nicht dagewesen wäre. Vermöge des Wurfes der Hand geht der Stein in der Richtung dieses Wurfes um dieselbe gerade Linie fort, die er wirklich beschreiben würde, wenn die Erde keine anziehende Kraft hätte. Und vermöge dieser letzten Kraft fällt er ganz ebenso in senkrechter Richtung zur Erde, als er gefallen sein würde, wenn jener Wurf der Hand nicht stattgehabt hätte, wenn vielmehr der Stein nur aus der ruhenden Hand gefallen wäre. Beide Kräfte zusammen aber bewirken die krummlinige Bahn dieses

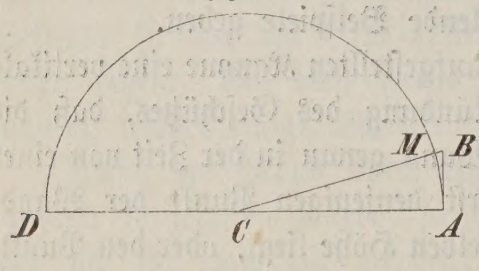
Steines, deren jedes noch so kleine Teilchen, jedes Element, aus dem Elemente jener geraden Wurflinie und aus dem dieser senkrechten Falllinie zusammengesetzt ist.

§ 7. (Anwendung des Vorhergehenden auf den Mond.) Dasselbe wird also auch von dem Monde gelten und unmittelbar auf ihn angewendet werden können. Die gerade Linie, in welcher er sich vermöge seiner ursprünglichen Wurfkraft zu bewegen sucht, wird die Richtung der Tangente sein, in welcher er jeden Augenblick von der Erde fortgehen will und auch in der That fortgehen würde, wenn die Anziehung der Erde ihn nicht zurückhielte. Und diese Anziehung der Erde wird wieder die kleine gerade Linie sein, um welche er, indem er die Richtung jener Tangente verläßt, in jeder Sekunde zur Erde hinrückt oder eigentlich zu ihr hinfällt.

Welches ist aber diese letzte gerade Linie, um welche sich der Mond in jeder Sekunde der Erde wieder nähert?

Sei C Fig. 97 der Mittelpunkt der Erde und zugleich der Mittelpunkt der hier der Einfachheit wegen als kreisförmig angenommenen Mondbahn AMD. Indem der Mittelpunkt A des Mondes den Punkt A seiner Bahn verläßt, um seinen Weg fortzusetzen, würde er, wenn keine andere Kraft auf ihn wirkte, in der Richtung, die er bei seiner Ankunft in A hatte, d. h. er würde in der geradlinigen Tangente AB seiner Bahn, die auf seinem Radius CA senkrecht steht, fortgehen. Allein da er zugleich von der Erde angezogen wird, so kann er am Ende der ersten Sekunde nicht in dem Punkte B dieser Tangente, sondern er muß in irgend einem der Erde C näheren Punkte, nämlich in dem Punkte M seiner Bahn sein, ganz eben so, wie vorhin die Kugel der ihr gegenüberstehenden Wand nicht in dem horizontalen Visierpunkte, sondern in einem anderen, tieferen Punkte begegnete. Auf dieselbe Weise begegnet nämlich jetzt der Mond dem ihm gegenüberstehenden Halbmesser CB oder dieser seiner Wand nicht in dem Visierpunkte B, sondern in dem der Erde näheren Punkte M, und die Distanz dieser beiden Punkte, das heißt die kleine Linie BM ist es, um welche der Mond in der ersten Sekunde, seit er von A ausging, zur Erde fiel, und um welche er auch in der That schon von dem Punkte A aus gefallen sein würde, wenn bloß die Anziehung der Erde, ohne jede Wurfkraft, auf ihn gewirkt hätte.

Fig. 97.



Diese kleine Linie BM also, die den eigentlichen Fall des Mondes zur Erde ausdrückt, diese ist es, deren Größe wir nun zu bestimmen haben, um zu sehen, ob sie mit derjenigen übereinstimmt, die wir oben aus unserer Voraussetzung abgeleitet haben, nach welcher sie 0·00135 m betragen soll.

Allein wie soll man diese Größe BM finden?

Die Elemente der Geometrie reichen hin, zu zeigen, daß BM gleich ist dem Quadrate des Bogens AM dividiert durch den Durchmesser AD des vom Monde

beschriebenen Kreises, d. h. durch die doppelte Entfernung des Mondes von dem Mittelpunkte der Erde.

Es ist also alles auf die Berechnung des Bogens AM zurückgeführt. Um nun dieselbe ausführen zu können, brauchen wir zunächst die Umlaufszeit des Mondes, welche aber (vgl. I, § 87) bereits die alten Griechen so genau bestimmt hatten, daß die neueren Astronomen nur wenig oder gar nichts hinzufügen konnten. Diese Umlaufszeit des Mondes in Beziehung auf die Fixsterne oder die siderische Revolution desselben beträgt (I, § 84) 27·3216614 Tage oder 2 360 591·5^s. Da nun der Mond in dieser Zeit den ganzen Umfang seiner Bahn beschreibt, wird man den Bogen AM erhalten, wenn man diesen Umfang durch die obige Zahl von Sekunden dividiert. Der Umfang eines Kreises ist aber bekanntlich gleich dem Produkte des doppelten Halbmessers in die Ludolfische Zahl: 3·141592 . . . (S. Note auf S. 32), also, da der Halbmesser der Mondbahn 60·2778 Halbmesser der Erde beträgt, der Umfang der Mondbahn 378·736 Halbmesser der Erde, und damit der in einer Sekunde zurückgelegte Bogen AM = 0·00016044 Erdhalbmesser.

Allein diese Zahl können wir noch nicht sofort zu unserem Zwecke verwenden, weil wir den Fall des Mondes gegen unsere Erde in Meter gegeben haben müssen, wenn wir ihn mit dem Falle eines Steines vergleichen wollen. Wir müssen uns daher den Bogen AM in Meter ausdrücken, dazu aber die Größe des Erdhalbmessers in diesem Maße kennen; und dies ist die dritte Größe, deren Kenntnis im § 4 als notwendig hingestellt wurde.

Nehmen wir nun für den Halbmesser der Erde den sichersten damals bekannten und auch sehr nahe richtigen Wert, nämlich den von Picard gefundenen, an, wonach dieser Halbmesser sich auf 6 372 000 m beläuft, so ist der Bogen AM = 1022 m, und da der Durchmesser der Mondbahn 120·5556 Erdhalbmesser beträgt, nach der obigen Formel die gesuchte Linie BM, um welche der Mond in einer Sekunde zur Erde fällt, gleich dem Quadrate von 1022, dividiert durch das Produkt von 120·5556 in 6 372 000, d. h. gleich 0·00136 m, also genau so groß, als wir aus der Voraussetzung gefunden hatten, daß die Kraft der Erde sich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung verhalte.

§ 8. (Weitere Versuche Newton's.) Diese schöne Übereinstimmung wäre ein unumstößlicher Beweis für unsere Annahme, daß die Kraft, welche die Körper auf der Oberfläche der Erde fallen macht, dieselbe ist, welche auch den Mond um die Erde bewegt, wenn wir nicht noch eine Voraussetzung gemacht hätten, die man wohl als wahrscheinlich, keineswegs aber als unbestreitbar hinstellen kann. Wir haben nämlich (§ 5) nicht nur angenommen, daß die Kraft der Erde dem Quadrate der Entfernung proportional abnehme, sondern auch, daß sie ihren Sitz im Mittelpunkte der Erde habe, und von dort aus, einem Strahlenbüschel ähnlich, in die Ferne wirke. Man kann nun wohl allenfalls ohne nähere Begründung zugeben, daß die Erde in der Entfernung des Mondes oder in einer noch größeren

auf einen Körper so wirke, als ob ihre ganze Masse in einem Punkte, ihrem Mittelpunkte, konzentriert sei: für einen auf ihrer Oberfläche auf sie herabfallenden Körper diese Annahme ohne weiteres zu machen, ist aber nicht zulässig. Man ist daher vorläufig höchstens zu dem Schlusse berechtigt, daß die Erde den Mond im umgekehrt quadratischen Verhältnisse anzieht, nicht aber zu dem weiteren, daß dies auch dieselbe Kraft sei, welche den Stein zwingt, zur Erde zu fallen. Diese Lücke war es wohl auch vornehmlich, welche Huyghens hinderte, aus seinen oben erwähnten 13 Propositionen die letzten Konsequenzen zu ziehen, und so der Begründer der Theorie der allgemeinen Schwere zu werden, und sie war es wohl auch, welche Newton bewog, seine diesbezüglichen Rechnungen vorläufig nicht weiter zu verfolgen, und auch nicht mit ihnen vor die Öffentlichkeit zu treten. Daß er sie aber nicht aus dem Auge verlor, sondern wiederholt auf dieselben zurückkam, dafür liegen mancherlei Anzeichen vor, wie unter anderem das folgende.

Im Jahre 1678 erhielt er von der Royal Society den Auftrag, seine Ansicht über ein Werk der physischen Astronomie mitzuteilen, das damals einiges Aufsehen machte, jetzt aber ganz vergessen ist. Er kam diesem Wunsche in einem Briefe an Hooke, Sekretär der Gesellschaft nach, in welchem er auch gelegentlich von einer ihm erst kürzlich beigefallenen Idee sprach, die Rotation der Erde durch unmittelbare Beobachtungen zu beweisen. Zu diesem Zweck schlug er das nun allgemein bekannte Experiment mit von hohen Türmen fallenden Körpern vor (I, § 13) und behauptete, daß diese Körper wegen der Rotation der Erde östlich von dem Turme zu Boden fallen müssen, weil sie vor ihrem Falle die Geschwindigkeit der Spitze des Turmes haben, die größer ist als die des Fußpunktes desselben. Die Akademie setzte einen großen Wert auf diesen Vorschlag und trug Hooke, der als ein genauer Beobachter bekannt war, die Ausführung desselben auf. Als dieser anfing, sich mit dem Gegenstande zu beschäftigen, bemerkte er, daß der Körper nicht bloß östlich, sondern auch in der nördlichen Hemisphäre etwas südlich von dem Fuße des Turmes zur Erde kommen müsse.

Newton erkannte auch sofort die Richtigkeit jener Bemerkung und setzte in seiner Antwort an Hooke hinzu, er habe diese Sache seitdem noch näher untersucht und gefunden, daß der Weg des fallenden Körpers bei der rotierenden Erde eine Art von Spirale sein müsse. Allein auch diese Bemerkung ließ Hooke nicht gelten. Er schrieb nämlich nach einiger Zeit an Newton zurück, daß nach seinen über diesen Gegenstand angestellten Untersuchungen die krumme Linie, in welcher der Körper bei einer rotierenden Erde fällt, eine Ellipse sei, wenn anders die Kraft der Erde sich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung verhalte und die Bewegung des Körpers im freien Raume vor sich gehe.

Man findet nicht, daß Newton auf diese zweite Verbesseruug Hooke's geantwortet habe. Aber er erkannte ohne Zweifel die Richtigkeit derselben, da sie ihm, wie er selbst in einem Briefe an Halley vom 27. Juli 1686 hervorhebt, veranlaßte, der Sache weiter nachzuforschen und dadurch ein sehr wichtiges Theorem

zu entdecken, welches eigentlich nur eine Erweiterung des von Hooke gefundenen Satzes war. Er fand nämlich, daß, wenn ein durch eine Centralkraft getriebener Körper in einer Ellipse einhergeht, und wenn diese Kraft in einem der Brennpunkte der Ellipse ihren Sitz hat, diese Kraft sich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung des Körpers von diesem Brennpunkte verhält. Da nun schon lange vorher durch Kepler ausgemacht war, daß die Planeten Ellipsen beschreiben, in deren einem Brennpunkte die Sonne ruht, so war dadurch das Gesetz der Attraktion der Sonne eigentlich schon gefunden, aber wieder noch nicht unwiderleglich bewiesen. Dazu hätte nämlich gezeigt werden müssen, daß, wenn die Kraft der Sonne sich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung verhält, dann auch die Bahnen der Planeten Ellipsen oder überhaupt Kurven der zweiten Ordnung sein müssen. Dies vermochte Newton aber damals gewiß nicht zu thun, indem dazu der Integralkalkul notwendig ist, der damals noch kaum geboren war. Diesem gemäß blieb es also noch immer zweifelhaft, ob nicht auch andere der Sonne inwohnende Kräfte ebenfalls solche elliptische Bahnen erzeugen können, wie denn dies auch in der That der Fall ist, da z. B., wenn die Kraft der Sonne sich wie die Entfernung selbst verhält, also mit ihr im gleichen Verhältnisse zu- und abnimmt, diese Bahnen ebenfalls Ellipsen sind, nur mit dem Unterschiede, daß dann die Sonne nicht in einem der Brennpunkte, sondern in dem gemeinschaftlichen Mittelpunkte dieser Ellipsen ihren Sitz hat.

Man sieht daraus, wie Newton sich, wenn auch langsam, so doch schrittweise dem Ziele näherte, bis es ihm endlich glückte, auch das letzte Glied der Kette zu schließen durch die Entdeckung des schönen Theoremes, daß eine Kugel alle Körper, ob nah oder fern, so anzieht, als ob ihre ganz Masse im Mittelpunkte vereinigt wäre. Damit war der große Wurf gelungen — das Gesetz der allgemeinen Schwere entdeckt.

§ 9. (Frühere Darstellung der schließlichen Entdeckung des Gesetzes der allgemeinen Gravitation.) Man hat bisher die lange Zögerung Newton's in der Veröffentlichung seiner Untersuchungen dem Umstande zugeschrieben, daß er selbst begründete Zweifel gegen die Richtigkeit seiner Anschauungen hegte, weil infolge irrig angenommener Erddimensionen der von ihm berechnete Fall des Mondes gegen die Erde mit dem thatsächlichen nicht übereinstimmte, und stellte die Sachlage folgendermaßen dar.

In der Zurückgezogenheit seines ländlichen Aufenthaltes in Woolsthorpe habe er Werke mit den genaueren Angaben der Erddimensionen aus den damals vorhandenen besseren Gradmessungen nicht bei der Hand gehabt, und deshalb einer allgemein angenommenen Voraussetzung gemäß den Erdgrad in runder Zahl zu 60 englischen Meilen beziffert. Da nun die englische Meile eine Länge von 1609·3 m besitzt, betrug darnach der Erdgrad 96 560 m und der daraus folgende Halbmesser der Erde nur 5 532 400 m, oder nahe um ein Siebentel zu wenig. Multipliziert man die letzte Zahl mit der oben für den Fallraum des Mondes

in Erdhalbmessern angegebenen 0·00016044, so findet man für den Bogen AM (Fig. 97), welchen der Mond in seiner Bahn während jeder Zeitsekunde zurücklegt, 887·6 m, und demnach seinen Fall während einer Sekunde gleich dem Quadrate von 887·6 dividiert durch das Produkt von 120·5556 in 5 532 400, das heißt 0·00118 m anstatt 0·00135 m. Diese Differenz ist zu beträchlich, als daß sie zugelassen werden kann.

Man sieht dies besser, wenn man aus der von Newton gefundenen Größe von BM = 0·00118 wieder auf den Fall der Körper auf der Oberfläche der Erde rückwärts schließt. Da nämlich die Entfernung des Mondes von der Erde 60·2778 Halbmesser der Erde beträgt, so müßte, wenn Newton's Bestimmung der Größe BM auch nur beinahe richtig wäre, der Fall der Körper auf der Oberfläche der Erde während einer Sekunde gleich dem Quadrate von 60·2778 multipliziert in 0·00118, das heißt, er müßte gleich 4·2 m sein. Allein unseren Beobachtungen zufolge beträgt dieser Fall 4·9 m und diese Bestimmung ist, wie Newton sehr wohl wußte, so genau, daß sie kaum 3, nicht aber volle 70 cm von der Wahrheit abweichen konnte.

Anstatt nun aber aus dieser Nichtübereinstimmung seiner Rechnung mit den Beobachtungen den Schluß zu ziehen, daß irgend eines der zu Grunde gelegten Elemente, der Halbmesser der Erde oder die Umlaufszeit oder die Entfernung des Mondes in Erdhalbmessern ausgedrückt, nicht ganz richtig sei und daher noch einer Verbesserung bedürfe, soll Newton zu sich selbst gesagt haben, es ist also wohl ganz unrichtig, was ich anfangs für so wohlbegründet hielt, daß dieselbe Kraft, die den Stein zur Erde fallen macht, auch den Mond um sie bewegt, oder es ist doch, wenn es auch so wäre, unrichtig, daß sie sich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung verhält. Er brach deshalb alle weiteren Untersuchungen über diesen Gegenstand als eine Beschäftigung mit unnützen Spekulationen ab und würde sie vielleicht nie mehr aufgenommen haben, wenn er nicht volle 16 Jahre nach jenem ersten Versuche durch einen Zufall wieder darauf zurückgeführt worden wäre.

Es war im Juni des Jahres 1682, als er in dem Hause der Akademie zu London unter den früher Angekommenen auf die für diesen Tag angesagte Versammlung wartete. Man sprach hier unter anderem auch von einer neuen Gradmessung, die kurz zuvor ein gewisser, damals noch wenig bekannter Picard in Frankreich ausgeführt hätte, und eines der Mitglieder zeigte ein von ihm erhaltenes Schreiben vor, in welchem die Resultate dieser Vermessung enthalten waren. Newton nahm eine Abschrift dieser Zahlen, suchte nach geendeter Sitzung, zu Hause angekommen, seine alten Rechnungen von dem Jahre 1666 wieder hervor, um sie mit den Zahlen jenes Briefes zu vergleichen, und bemerkte bald, daß er sich der so lange gewünschten Erfüllung seines Wunsches nähere; mit jeder Ziffer wurde es ihm gewisser, daß er an dem Vorabende einer großen Entdeckung stehe, — aber jetzt wurde er auch von einem so heftigen Beben seiner Nerven ergriffen,

daß er die angefangene Rechnung nicht vollenden konnte. In diesem Zustande vertraute er sich einem eben eintretenden Freunde, der den Griffel wieder aufnahm und die Rechnung zu Ende brachte.

So wahrscheinlich nun diese Darstellung auch klingen mag, und so sehr sie uns wegen ihrer poetischen Schlußausschmückung auch anmutet, so teilt sie doch mit so vielen erhebenden historischen Anekdoten und geistreichen Aussprüchen berühmter Männer, die sich als geflügelte Worte von Generation zu Generation fortpflanzen, das Geschick, daß sie vor einer kritischen Beleuchtung nicht bestehen kann. Der wunde Punkt liegt hier, wie Adams treffend hervorhob, darin, daß bereits 1665 viel genauere Erddimensionen bekannt waren, als Newton benützte, nämlich die im Jahre 1615 von Snellius in Holland mit vieler Umsicht angestellte Vermessung, welche den Breitengrad zu 107 340 m ergeben hatte, und die von seinem Landsmanne Noswood 1634 ausgeführte, welcher den Breitengrad der Erde gleich 111 680 m, also noch genauer als selbst Picard gefunden hatte. Auch Picard's Messung wurde der Royal Society bereits 1672 mitgeteilt: Newton zeigte aber durch volle 12 Jahre gar keine Interesse daran, den Einfluß dieser Messungen auf seine Theorie zu untersuchen. Einer bloßen Nachlässigkeit kann man doch wohl einen derartigen anscheinenden Mangel an Interesse für eine so fundamentale Frage nicht zuschreiben: der wahre Grund hierfür ist vielmehr einfach darin zu suchen, daß Newton, ehe er 1684 seinen schönen Lehrsatz über die Anziehung einer Kugel aufgefunden hatte, die Vergleichung der Schwere in der Entfernung des Mondes mit der an der Oberfläche der Erde für gar nichts weiter als eine rohe Approximationsrechnung hielt, die mit den genauesten Werten streng durchzuführen er nicht der Mühe wert erachtete.

§ 10. (Kurze Anzeige des Inhaltes der „Principia" von Newton.) Nachdem sich Newton von der Wahrheit der Hypothese, daß alle Körper sich verkehrt wie das Quadrat ihrer Entfernungen anziehen, überzeugt, nachdem er so das große Gesetz der Natur gefunden, öffnete sich nun mit Eins das ganze Weltall vor seinem Blicke: die Sonne mit ihren Planeten und Kometen; diese Planeten selbst mit ihren Satelliten, kurz das ganze, dem menschlichen Auge bisher verschleierte, Sonnensystem stand nun in seiner inneren wundervollen Einrichtung und mit den alle seine Bewegungen regelnden Gesetzen klar und deutlich vor seinen Augen. Er ging daher mit neuer Kraft an alle früheren Versuche, die er über diesen wichtigen Gegenstand von Zeit zu Zeit angestellt hatte, suchte sie unter einander zu verbinden und aus ihnen die Erklärungen aller übrigen Phänomene des Himmels abzuleiten. Er sah bald, daß sich aus der Anwendung seines Gesetzes nicht nur die elliptische Bewegung der Himmelskörper, sondern auch noch eine große Anzahl von andern Erscheinungen, von welchen man bisher keinen Grund angeben konnte, würde ableiten lassen. Allein diese Ableitung, diese weitere Entwicklung jenes obersten Naturgesetzes erforderte einen noch viel höheren Aufwand von geistiger

Kraft als selbst jene Entdeckung, und sie ist es eigentlich, wodurch Newton seine wahre Größe beurkundet hat.

Vier Jahre beschäftigte er sich unabläßig mit diesen wichtigen und schwierigen Forschungen, deren Resultate er endlich im Jahre 1686, also erst 20 Jahre nach seiner ersten Idee, in seinem unsterblichen Werke: „Principia philosophiae naturalis mathematica", bekannt machte.

Dieses Werk, eines der größten, die der menschliche Geist hervorgebracht hat, handelt zuerst von den krummen Linien, welche die Körper beschreiben, wenn sie von gegebenen Kräften getrieben werden. Unter diesen Problemen wird der Fall der Natur, wo die Centralkraft sich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung verhält, mit aller Umständlichkeit besonders betrachtet. Ferner wird gezeigt, daß bei diesem Naturgesetze die Anziehung der Kugeln auf äußere Punkte sich so verhalte, als wäre ihre anziehende Kraft, die doch jedem Elemente ihrer Masse zukommen muß, in dem Mittelpunkte dieser Kugeln vereinigt. Da aber die anziehende Kraft nicht nur der Sonne, sondern überhaupt allen Körpern innewohnt, so werden nicht bloß die Planeten von der Sonne, sondern sie werden auch von einander selbst angezogen, und daher kommt es, daß die Ellipse, welche jeder Planet, wenn er allein da wäre, um die Sonne beschreiben würde, durch die Attraktion der anderen Planeten oft sehr merklich gestört und in eine andere verwickelte krumme Linie verwandelt wird. Glücklicherweise sind diese Planeten alle so klein gegen die Sonne und überdies durch so große Zwischenräume von einander getrennt, daß diese Störungen nur gering sind, und daß man sich ohne merklichen Fehler erlauben kann, die Störungen jedes Planeten durch jeden andern, einzeln betrachtet, zu untersuchen. Bei dieser Einrichtung unseres Sonnensystems reicht es daher vollkommen zur Theorie der Bewegung eines Planeten hin, wenn man zuerst die reinen elliptischen Elemente (I, § 82) desselben und dann die Störungen sucht, welche er durch jeden andern Planeten, einzeln betrachtet, erleidet. Auf diese Weise ist die Untersuchung auf das sogenannte Problem der drei Körper zurückgebracht, d. h. auf die Bestimmung der Bewegung eines Planeten, der von der Sonne angezogen und von einem anderen, gegen die Sonne viel schwächeren, Planeten in seiner Bewegung etwas gestört wird.

Die weitere Entwicklung desselben Naturgesetzes gab ihm auch Mittel an die Hand, die Massen der Sonne und der Planeten, die Dichtigkeiten derselben und die Größen zu bestimmen, durch welche auf der Oberfläche derselben die Körper in der ersten Sekunde fallen, und so Fragen zu beantworten, welche die Alten sich vernünftigerweise nicht einmal stellen durften.

Die große Abplattung Jupiters, die kurz zuvor Cassini entdeckt hatte, brachte Newton auf die Untersuchung der Ursache derselben und dadurch auf die Bestimmung der wahren Gestalt der Erde, die auch, wenngleich viel weniger als jener Planet, an ihren Polen abgeplattet ist. Er fand, daß die aus der

Rotation der Erde entstehende Centrifugalkraft an dem Äquator den 289sten Teil der Schwere beträgt, daß der Halbmesser des Äquators sich zu der halben Rotationsachse der Erde wie 230 zu 229 verhält, und daß die Gestalt der Erde die eines Körpers ist, der durch die Rotation einer Ellipse um ihre kleine Achse entsteht.

Newton zeigte ferner, daß die wunderbaren Erscheinungen der Ebbe und Flut des Meeres eine bloße Wirkung der Attraktion des Mondes, verbunden mit jener der Sonne sind, und lehrte die Größe und Zeit derselben bestimmen. Er erklärte die größeren Ungleichheiten der Mondbewegung, vorzüglich die Evection, Variation und die jährliche Gleichung (siehe unten §§ 47 bis 49) aus dem von ihm entdeckten Naturgesetze und zeigte, daß sie ebenso eine bloße Folge dieses Gesetzes sind, wie die schnelle Bewegung der Knoten und der Apsiden (§§ 53, 54) dieses Satelliten. Selbst die Präcession der Nachtgleichen (I, § 50) stellte er, den Beobachtungen gemäß, aus der Anziehung der Sonne und des Mondes auf die an ihren Polen abgeplattete Erde dar. Die Kometen betrachtete er als Himmelskörper, die in ebenso regelmäßigen Bahnen wie die Planeten um die Sonne gehen, und lehrte uns die Elemente dieser Bahnen aus den Beobachtungen berechnen, wovon er selbst ein Beispiel für den merkwürdigen Kometen d. J. 1680 gab. Überdies findet man noch in demselben Werke zum erstenmale die vorzüglichsten Lehren unserer Hydrostatik und Hydrodynamik oder die Theorie des Gleichgewichts und der Bewegung der Flüssigkeiten; tiefe und schwierige Untersuchungen über die Bewegungen fester Körper in flüssigen und luftförmigen Mitteln, über den Widerstand, welchen sie von diesen Mitteln erleiden, über die Gestalt der Körper, bei welcher dieser Widerstand am kleinsten ist, über die Bewegung der Pendel und der geworfenen Körper in widerstehenden Mitteln, über die Fortpflanzung des Schalls in der Luft, über die Bewegung des Wassers in Röhren und Kanälen, über das Wesen des Lichtes (Emanationstheorie) u. s. w.

Dieses reichen Inhaltes ungeachtet fand das Werk aus verschiedenen Ursachen durch mehr als 50 Jahre nicht die allgemeine, günstige Aufnahme, die es in so hohem Grade verdiente. Es hatte zunächst lange mit allen den Schwierigkeiten zu kämpfen, die sich der Einführung jeder neuen Wahrheit entgegenzusetzen pflegen. Außerdem erforderte aber der Vortrag in demselben von dem Leser so viel Vorkenntnisse und Fassungskraft, daß von allen seinen Zeitgenossen kaum 2 oder 3 gefunden werden konnten, von denen man sagen durfte, sie seien im Stande gewesen, es vollkommen zu verstehen. Endlich hatte Newton in diesem Buche den synthetischen Vortrag der alten griechischen Geometer gewählt, für welchen er durch sein ganzes Leben eine besondere Achtung gehegt hatte, obwohl er, wie es scheint, seine Entdeckungen nicht auf diesem, an sich sehr schwierigen, sondern auf dem viel leichteren Wege der mathematischen Analyse machte und dann nur wieder in die Sprache jener Synthese übertrug. Man muß es überhaupt bedauern, daß er bei der Auseinandersetzung seiner Entdeckungen nicht die Mittel angegeben hat, welche

ihn dazu führten, und daß er die Beweise mehrerer seiner Theoreme gänzlich unterdrückte, weil er, wie es scheint, das Vergnügen, sich mühsam erraten zu lassen, dem Zwecke, seine Leser aufzuklären, vorgezogen hat. Denn die Kenntnis der Methode, die das Genie zu seinen Entdeckungen führt, ist oft nicht weniger interessant und lehrreich als diese Entdeckungen selbst.

§ 11. (Geltungsbereich des Gesetzes der allgemeinen Gravitation.) Newton hatte, wie wir sahen, das Gesetz der allgemeinen Gravitation eigentlich nur für den Mond bewiesen, übertrug aber der Analogie gemäß das, was er für die Erde in Beziehung auf den Mond gefunden hatte, auch sofort auf die Sonne und die Planeten, und zwar mit vollem Rechte, nachdem er in seinen „Prinzipien" nachgewiesen hatte, daß die Kepler'schen Gesetze, und namentlich das dritte, nur eine unmittelbare Folge seines Gesetzes der allgemeinen Gravitation seien. Wir könnten uns nun wohl damit begnügen, zu wissen, daß es bis an die äußerste Grenze unseres Sonnensystems befolgt wird. Denn diese Grenze ist so weit von uns entfernt, oder das Reich der Sonne im Vergleich mit allen Reichen der Erde so gewaltig groß, daß wir alle Ursache haben, uns zum Auffinden des zwar kurzen, aber mit der größten Genauigkeit befolgten Gesetzbuches dieser wahrhaft unermeßlichen Monarchie Glück zu wünschen. Von den Planeten, die wir bisher in diesem Sonnensysteme kennen, ist Neptun der weiteste von der Sonne, von der er über 30mal weiter als die Erde, oder mehr als 4460 Millionen km absteht. Eine Kanonenkugel, die in jeder Sekunde, ohne zu ermatten, 200 m zurücklegte, würde diesen Weg erst in 700 Jahren vollenden. Allein dieser Planet ist noch weit von der uns bekannten Grenze jenes Reiches entfernt, indem mehrere Kometen, die zweifellos in einer Ellipse die Sonne umkreisen, sich von ihr um mehr als die 4fache Distanz Neptuns entfernen, und doch gehorchen auch sie noch dem dritten Kepler'schen Gesetze, welches, wie oben erwähnt, nur eine Folge des allgemeinen Gesetzes der Schwere ist.

Aber außer diesem Reiche? Jenseits der Grenzen des Sonnengebietes? Es scheint verwegen, um Ereignisse, welche dort vorgehen, und um die Gesetze zu fragen, nach welchen sie vorgehen. Und doch hat sich der menschliche Geist auch an die Auflösung dieses Rätsels gewagt. Wie wir wissen, bewegt sich bei physischen Doppelsternen (II, § 190) der eine Himmelskörper um den anderen, und zeigte sich in allen Fällen, wo die Berechnung einer Bahn bisher versucht wurde, daß sich dieselbe, ganz so wie bei den Planeten und Satelliten unseres Sonnensystems, als eine Ellipse darstellen lasse, in deren einem Brennpunkte der Hauptstern liegt. Es trägt daher jede neue Bahnbestimmung eines Doppelsternes einen Baustein zur Befestigung der Überzeugung bei, daß auch in jenen ungemessenen Fernen das Gesetz unseres Sonnensystems anerkannt wird, und daß es daher höchst wahrscheinlich das allgemeine Gesetz der ganzen, endlosen Natur ist.

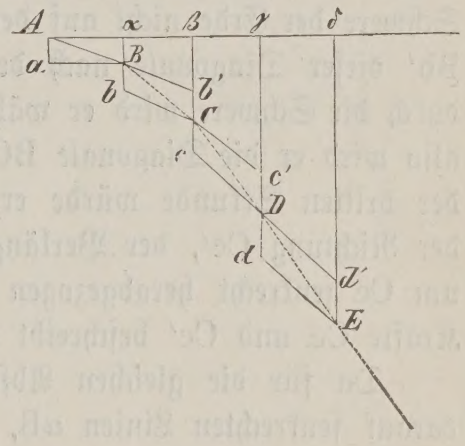
§ 12. (Bahn der geworfenen Körper auf der Erde.) Wir haben bereits im Eingange dieses Kapitels erörtert, daß, wenn ein Körper sich in einer krummen Linie be-

wegt, wenigstens zwei Kräfte auf ihn wirken müssen. Die eine dieser Kräfte kann ein bloßer Impuls, ein anfänglicher augenblicklicher Stoß oder Zug sein, in dessen Folge der Körper eine gerade Linie mit gleichförmiger Geschwindigkeit durchlaufen würde; die andere der beiden auf ihn wirkenden Kräfte kann aber keine solche Momentankraft, sondern sie muß eine kontinuierliche stets fortwirkende sein, weil nur durch eine solche die immerwährende Änderung der Richtung der Bahn sowie eine etwaige Änderung der Geschwindigkeit des Körpers sich erklären läßt.

Es scheint nun auf den ersten Blick keine leichte Aufgabe zu sein, die Bahn eines solchen, von zwei Kräften nach verschiedenen Richtungen getriebenen Körpers zu bestimmen. Allein wir haben bereits früher (I, § 47) eines allgemeinen Satzes der Mechanik erwähnt, der uns hier ganz besonders zu statten kommt, und denselben erst vor kurzem (§ 6) nochmals, aber, um dort den Zusammenhang nicht zu stören, nur mit wenigen Worten berührt: wir wollen uns daher jetzt eingehender mit ihm beschäftigen.

Nach einem Erfahrungssatze der Mechanik bringt nämlich auf einen Körper, der von zwei Kräften angegriffen wird, jede auf ihn dieselbe Wirkung hervor, als ob sie allein auf ihn gewirkt hätte. Diesem Grundsatze gemäß, den man das Prinzip der Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte nennt, kann man die Wirkungen der beiden Kräfte gesondert betrachten, wodurch das Geschäft der Bestimmung der durch das Zusammenwirken mehrerer Kräfte hervorgebrachten Bahn sehr erleichtert wird.

Fig. 98.



Wir haben schon oben (§ 2) die einfachste Art der Bewegung unter dem Einflusse der Attraktion der Erde betrachtet: nämlich den freien Fall. Gehen wir jetzt einen Schritt weiter, und nehmen wir an, es werde ein Körper (A) Fig. 98 auf der Oberfläche der Erde in der Richtung Aδ geworfen und zugleich in jedem Augenblicke von der Kraft der Erde angezogen. Wenn bloß der erste augenblickliche Impuls des Wurfes auf ihn wirkte, so würde er in jeder Sekunde die gleich großen Teile Aα, αβ, βγ . . der Linie Aαβγ . . beschreiben, von welchen z. B. jeder 10 m betragen soll. — Wenn aber bloß die Anziehung der Erde auf ihn wirkte, welche Wirkung man hier aus der bereits oben (§ 5) angeführten Ursache als konstant und in unter sich parallelen zur Oberfläche der Erde lotrechten Richtungen annehmen kann, so würde dieser Körper in der ersten Sekunde (nach § 2) um 4·9 m senkrecht zur Erde fallen. Wir wollen diese Größe der Kürze wegen ein Maß nennen. Wenn er also während der ersten Sekunde durch ein Maß fällt, so wird er (nach § 2) in 2 Sekunden durch 4, in 3 durch 9, in 4 durch 16 Maß fallen u. s. w.

Dies vorausgesetzt, ziehe man durch die Endpunkte α, β, γ . . jener gleichen

Teile der Linie Aδ die vertikalen Linien αb, βc, γd . . und nehme auf ihnen die Stücke

αB gleich 1 Maß
βC = 4 =
γD = 9 =
δE = 16 = u. s. f.

so werden A, B, C, D . . die Punkte sein, in welchen sich der geworfene Körper im Anfange der 1sten, 2ten, 3ten, 4ten Sekunde befindet. Vereinigt man dann diese Punkte durch eine krumme Linie ABCD . ., so erhält man die gesuchte Bahn des geworfenen Körpers. Je kleiner man die anfänglichen gleichen Teile der horizontalen Linie Aδ genommen hat, desto genauer wird man auch diese krumme Linie selbst erhalten. Dieselbe Zeichnung zeigt auch, daß man sie als eine Reihe von Diagonalen der Parallelogramme jener beiden Kräfte ansehen kann. In der ersten Sekunde sind diese beiden Kräfte Aα und αB und AB die Diagonale ihres Parallelogramms. Wenn am Ende dieser ersten Sekunde die Schwere der Erde nicht auf den Körper wirkte, so würde er in der Verlängerung Bb' dieser Diagonale nach der einmal erhaltenen Richtung fortgehen. Allein durch die Schwere wird er während der zweiten Sekunde um die Linie Bb fallen, also wird er die Diagonale BC der beiden Kräfte Bb und Bb' beschreiben. In der dritten Sekunde würde er, vermöge der in C erhaltenen Geschwindigkeit in der Richtung Cc', der Verlängerung von BC, fortgehen, aber von der Schwere um Cc senkrecht herabgezogen werden, so daß er die Diagonale CD der beiden Kräfte Cc und Cc' beschreibt u. s. w.

Da für die gleichen Abstände Aα, αβ, βγ . . der horizontalen Linie die darauf senkrechten Linien αB, βC, γD . . sich wie 1, 4, 9 . ., das heißt, wie die Quadrate der natürlichen Zahlen verhalten, und da dies eine bekannte Eigenschaft der Parabel (§ 15 unten), so ist dadurch auch die Bahn der über der Erde geworfenen Körper geometrisch bestimmt.

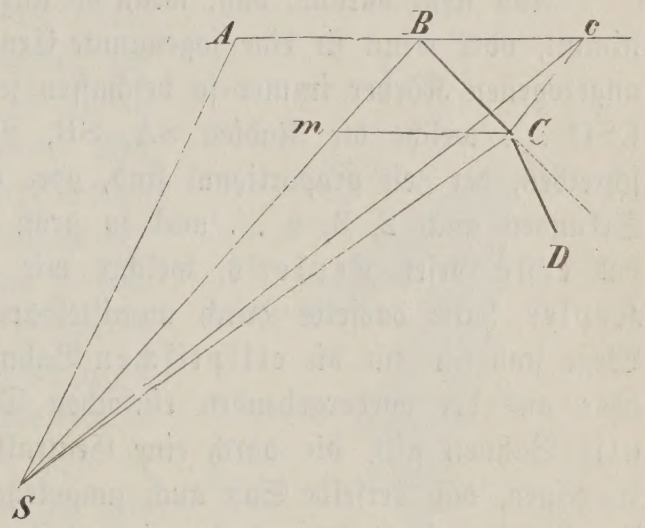
§ 13. (Anwendung des vorhergehenden auf künstliche Monde.) Aus der obigen Darstellung ersieht man sofort, was wir übrigens alle auch aus Erfahrung wissen, daß ein geworfener Körper einen desto größeren parabolischen Bogen über der Erde beschreiben, oder daß er die Oberfläche derselben desto später erreichen wird, je größer die anfängliche Wurfkraft, d. h. je größer die Linie Aα ist. Es kann daher diese Linie endlich auch so groß werden, daß der Körper gar nicht mehr zur Erde zurückfällt, sondern daß er eine krumme Linie um die ganze Erde herum beschreiben muß. Dann würde er aber dasselbe thun, was der Mond schon lange thut, und wir würden auch in der That auf diese Weise einen kleinen Mond mehr erhalten, so daß wir am Ende diese Monde in beliebiger Menge erzeugen könnten, wenn wir nur die dazu nötige Kraft hervorzubringen vermöchten. Und wie groß müßte diese Kraft, wie groß müßte die anfängliche Geschwindigkeit sein, um zu diesem Zwecke zu gelangen?

Die Antwort auf diese Frage lautet nach den Gesetzen der Mechanik: wenn man die Fallhöhe der Körper in der ersten Sekunde mit dem Durchmesser des Planeten multipliziert und aus der so erhaltenen Zahl die Quadratwurzel nimmt, so hat man die gesuchte anfängliche Geschwindigkeit des in Frage stehenden Projektils.

Für die Erde z. B. ist die Fallhöhe 4·9 m, und der Durchmesser derselben 12 756 000 m. Das Produkt dieser beiden Zahlen liefert 62 504 400, und von dieser Zahl ist die Quadratwurzel 7906. Es müßte also eine Kanone eine Ladung erhalten, welche der Kugel im Anfange ihres Laufes eine Geschwindigkeit von 7906 m in der Sekunde ertheilen könnte. Davon sind wir aber noch weit entfernt.

Die Mondbewohner hingegen, vorausgesetzt, daß sie mit Geschützen versehen sind, könnten einen solchen Versuch schon viel leichter ausführen, denn da bei ihnen die Schwere der Körper (unten § 22) nur den sechsten Teil unserer Schwere, oder genauer 0·82 m und der Durchmesser des Mondes bloß 3 482 000 m beträgt, so würde schon eine anfängliche Geschwindigkeit von 1690 m genügen, eine Kugel um ihn herumzutreiben. Doch ist selbst diese Geschwindigkeit noch immer so groß, daß auch die Seleniten noch einige Schwierigkeiten bei der Ausführung dieses Experimentes zu überwinden haben dürften.

Fig. 99.



§ 14. (Prinzip der Erhaltung der Flächen bei Bewegungen durch Centralkräfte.) Dies leitet uns gleichsam von selbst auf die Bewegung der Satelliten um ihre Hauptplaneten und auf die dieser Planeten um die Sonne, als um den Centralpunkt ihrer Bahnen. — Nehmen wir an, ein Planet A (Fig. 99) habe im Anfange seiner Bewegung durch irgend eine äußere Veranlassung einen Stoß erhalten, in dessen Folge er während der ersten Sekunde die gerade Linie AB zurücklegt. Wenn weiter keine Kraft auf ihn wirkte, so würde er in der zweiten Sekunde nach derselben Richtung die ebenso große Linie Bc = AB zurücklegen. Wenn aber auch die immer thätige Kraft der Sonne, deren unveränderlichen Ort wir in S annehmen wollen, auf ihn wirkt, so wird sie den Planeten während der zweiten Sekunde in der Richtung BS, etwa um die Linie Bm, an sich ziehen. Demnach hat der Planet, wenn er in dem Punkt B ankommt, zwei Geschwindigkeiten: die eine Bc, nach dem Gesetze der Trägheit, in der Tangente seiner Bahn, und die andere Bm nach der Richtung gegen die Sonne S. Zieht man daher durch c die gerade Linie cC gleich und

parallel mit Bm und ergänzt das Parallelogramm BCcm, so wird die Diagonale BC dieses Parallelogramms den eigentlichen Weg des Planeten während der zweiten Sekunde vorstellen, und derselbe wird am Ende dieser Sekunde in dem Punkte C sein. Allein die beiden Dreiecke ASB und BSc haben gleiche Flächen, weil ihre Grundlinien AB und Bc gleich groß sind, und ihr Scheitel in demselben Punkte S, also in derselben Höhe über ihrer Grundlinie sich befindet. Aber auch die beiden Dreiecke BSc und BSC haben gleiche Flächen, weil sie eine gemeinschaftliche Grundlinie SB, und ihre Scheitel C und c in einer Linie Cc haben, die zu jener Grundlinie parallel ist, so daß also auch dieses zweite Dreieckpaar, wie das erste, gleiche Basis und Höhe hat. Daraus folgt, daß auch die beiden äußersten Dreiecke, nämlich ASB und BSC gleiche Flächen haben, und eben dasselbe wird auch von den beiden Dreiecken BSC und CSD gelten, wenn der Planet am Ende der dritten Sekunde in dem Punkte D ist, und so fort für jeden folgenden Punkt.

Man sieht daraus, daß, wenn die anziehende Kraft einen festen Punkt S einnimmt, oder wenn sie eine sogenannte Centralkraft ist, die Bewegung der von ihr angezogenen Körper immer so beschaffen sein muß, daß die Flächen ASB, BSC, CSD . ., welche die Radien SA, SB, SC . . um den Sitz S der Kraft beschreiben, der Zeit proportional sind, oder daß diese Flächen immer in 2, 3, 4 . . Sekunden auch 2, 3, 4 . . mal so groß sind als in einer Sekunde. Dies ist das erste Gesetz Kepler's, welches wir schon oben (I, § 73) betrachtet haben. Kepler hatte dasselbe durch unmittelbare Beobachtungen auf bloß praktischem Wege und nur für die elliptischen Bahnen der Planeten gefunden. Man sieht aber aus der vorhergehenden einfachen Deduktion, daß dasselbe überhaupt für alle Bahnen gilt, die durch eine Centralkraft erzeugt werden, und es ist leicht, zu zeigen, daß derselbe Satz auch umgekehrt statthat, daß nämlich, so oft die von den Radien eines Körpers um einen festen Punkt beschriebenen Flächen der Zeit proportional sind, die sie bewegende Kraft eine Centralkraft oder eine solche Kraft sein müsse, die in diesem festen Punkte ihren Sitz hat.

§ 15. (Allgemeine Betrachtung der Kegelschnitte.) Wirkt eine Kraft, wie die allgemeine Schwere im umgekehrt quadratischen Verhältnisse der Entfernung, so muß die unter ihrem Einflusse beschriebene Bahn eines Körpers nicht gerade eine Ellipse sein, wohl aber eine sogenannte Linie zweiter Ordnung, oder ein Kegelschnitt, deren es im allgemeinen drei Gattungen giebt, die wir hier etwas näher betrachten wollen.

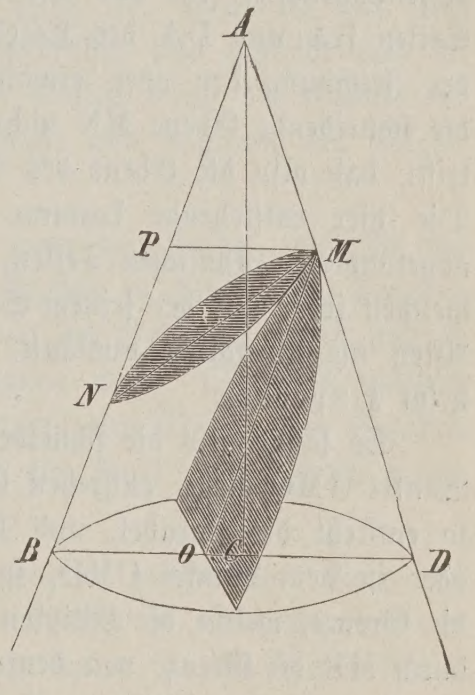
Wenn man (Fig. 100) auf den Mittelpunkt C eines horizontalen Kreises BD eine vertikale gerade Linie AC errichtet und dann eine zweite gerade Linie AD um den höchsten Punkt dieser Vertikalen so herumführt, daß sie immer durch diesen Punkt und durch die Peripherie jenes Kreises geht, so beschreibt diese zweite bewegliche Gerade eine krumme Oberfläche, die man einen Kegel nennt, von welchem jener oberste Punkt der Scheitel ist. Man kann sich die bewegliche

gerade Linie auch über diesen Punkt unbestimmt verlängert denken, wo sie dann durch ihre oben angegebene Bewegung einen Doppelkegel beschreiben wird, von welchem jener feste Punkt als Mittelpunkt betrachtet werden kann.

Denken wir uns die Oberfläche dieses Kegels in irgend einem ihrer Punkte M durch eine Ebene MN geschnitten, so wird der Durchschnitt der Kegelfläche mit der schneidenden Ebene MN eine Linie der zweiten Ordnung sein. Diese Linie wird aber ganz andere Gestalten und Eigenschaften erhalten, wenn die schneidende Ebene MN selbst von verschiedener Lage ist. — Man unterscheidet hier vorzüglich 3 Fälle, welche am naturgemäßesten durch eine zur gegenüberstehenden Seite AB des Kegels parallele Schnittebene MO von einander getrennt werden.

So lange die schneidende Ebene MN über der Ebene MO oder irgendwo in dem Winkel AMO liegt, trifft der Schnitt der Ebene mit dem Kegel immer auch die dem Einschnittspunkte M gegenüber liegende Seite AB des Kegels, und es bildet daher die durch diesen Schnitt erzeugte krumme Linie eine ringsum geschlossene Kurve. Diese Kurven sind es, die in der Geometrie Ellipsen genannt werden. Wir haben ihre vorzüglichsten Eigenschaften bereits oben (I, § 75) betrachtet. So lange die schneidende Ebene sehr nahe an MA liegt, wird die so entstehende Ellipse sehr länglich oder sehr excentrisch sein. Wie diese Ebene MN von MA weiter gegen MO herabrückt, wird die Excentricität der Ellipse kleiner und verschwindet völlig, wenn MN in eine solche Lage MP gekommen ist, daß sie mit der Ebene des Kreises BD parallel, oder daß sie senkrecht auf die Achse AC des Kegels steht; der Kegelschnitt wird dadurch zu einem Kreise, der als eine Ellipse mit verschwindender Excentricität betrachtet werden kann. Wenn aber die schneidende Ebene MN noch weiter gegen die fixe Linie MO herabsinkt, so entstehen wieder Ellipsen, deren Größe und deren Excentricität immer bedeutender wird, je tiefer die schneidende Ebene MN zu liegen kommt. Da man die Seitenlinien AB und AD des Kegels auch unter den Kreis BD unbestimmt verlängert sich vorstellen kann, so sieht man, daß der Schnitt, so lange er nur innerhalb des Winkels AMO statthat, immer noch die gegenüberstehende Seite AB oder ihre Verlängerung treffen, daß also die so entstehende Linie immer noch eine geschlossene Linie, eine Ellipse sein wird.

Fig. 100.



Allein, sowie die schneidende Ebene MN diese Grenze erreicht und in die Lage der Ebene MO kommt, ist dies nicht mehr der Fall. Hier geht nämlich der Schnitt nicht mehr durch die dem Punkte M gegenüber liegende Seite AB

des Kegels, weil die beiden Linien MO und AB einander parallel sind und sich daher nie schneiden können, so weit man auch den Kegel auf der unteren Seite des Kreises BD verlängert. Hier ist also auch die Kurve des Schnittes keine geschlossene, in sich selbst zurückkehrende, sondern sie ist eine gegenüber von M offene Linie, die von ihrem Scheitel M zu beiden Seiten der Linie MO mit zwei gleichen Ästen sich ins Unendliche ausbreitet. Diese krumme, von der Ellipse wesentlich verschiedene Linie heißt Parabel.

Bewegt sich nun die schneidende Ebene MN noch weiter oder auf die andere, untere Seite der Ebene MO, d. h. fällt MN zwischen die Schenkel OM und MD des Winkels OMD, so bleibt die durch den Schnitt entstehende Linie, wie man sieht, auf der dem Punkte M gegenüber stehenden Seite offen, indem sie da, wie bei der Parabel, in zwei gleiche und unendliche Äste ausläuft. Allein sie ist dessenungeachtet sehr von der Parabel verschieden. Verlängert man nämlich die Seiten BA und DA des Kegels über den Punkt A, und stellt man dadurch in der Zeichnung den oben erwähnten Doppelkegel her, so sieht man daß jetzt die schneidende Ebene MN nicht nur den unteren, sondern auch den oberen Kegel trifft, daß also die Ebene des Schnittes in diesem Falle durch beide Kegel geht. Die hier entstehende krumme Linie besteht demnach aus zwei von einander abgesonderten ähnlichen Teilen, welche ihre Scheitel einander zukehren, und von welchen jeder auf der seinem Scheitel gegenüber stehenden Seite mit zwei gleichen Ästen ins Unendliche ausläuft. Diese krumme Linie mit vier unendlichen Ästen heißt Hyperbel.

So lange also die schneidende Ebene MN über der Ebene MO oder in dem Winkel AMO liegt, entstehen Ellipsen; fällt die schneidende Ebene in die MO, so entsteht die Parabel, und liegt endlich die schneidende Ebene unter der MO oder in dem Winkel OMD, so entstehen Hyperbeln. Die Parabel ist demnach die Grenze, welche die Ellipsen von den Hyperbeln trennt, sowie auch der Kreis durch MP die Grenze von denjenigen Ellipsen ist, die über und unter ihm liegen und deren Excentricität immer größer wird, je weiter sie sich von diesem Kreise, zu beiden Seiten desselben, entfernen. Für jeden Punkt M des Kegels, wo der Schnitt anfangen soll, giebt es, wie man sieht, nur eine einzige Lage MO der schneidenden Ebene, die den Schnitt zur Parabel macht, sowie auch nur eine einzige andere Lage MP den Kreis erzeugt; für die Ellipse und die Hyperbel aber giebt es unendlich viele Lagen; es ist genug, daß die schneidende Ebene nur überhaupt über oder unter dem parabolischen Schnitte liege, um in dem ersten Falle eine Ellipse und in dem zweiten eine Hyperbel zu erzeugen.

§ 16. (Bedingungen, unter denen die Bahn eine Ellipse oder Hyperbel wird.) Dieses vorausgesetzt, gehen wir nun wieder zu der Bewegung der Planeten um die Sonne zurück. Diese wird nach dem Vorhergehenden durch zwei Kräfte bewirkt. Die eine derselben ist die Kraft der Sonne, die sich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung des Planeten von der Sonne verhält, und die daher, je nach der

Verschiedenheit dieser Entfernungen, selbst als eine veränderliche betrachtet werden muß. Die andere aber ist der augenblickliche Impuls, der Stoß, den der Planet im Anfange seiner Bewegung entweder durch die Anziehung irgend eines ihm eben nahestehenden Körpers oder anderswoher erhalten hat. Die erste dieser beiden Kräfte würde ihn, wenn sie allein da wäre, in einer geraden Linie und mit immer beschleunigter Geschwindigkeit zur Sonne geführt haben, weil die Richtung dieser Kraft immer gegen die Sonne zugeht. Die zweite Kraft würde, wenn sie allein da gewesen wäre, den Planeten, vermöge des Gesetzes der Trägheit mit einer immer gleichen Geschwindigkeit nach derjenigen Gegend des Himmels hingeführt haben, nach welcher jener ursprüngliche Stoß selbst gerichtet war. Aber unter dem Einflusse dieser beiden Kräfte wird der Planet, wie es in den §§ 12 und 14 ausführlicher dargelegt wurde, eine krumme Linie beschreiben, deren einzelne Elemente AB, BC, CD u. s. w. (Fig. 99), wenn sie nur klein genug genommen werden, die Tangenten an seine Bahn, und zugleich auch die Diagonalen des Parallelogrammes bilden, dessen Seiten durch die Größe und Richtung der Kraft der Sonne, und durch die Größe und Richtung des zuletzt-durchlaufenen Bahnstückes gebildet werden.

Aus der Betrachtung der Fig. 99 erkennt man auch sofort, daß es von dem Verhältnisse der Stärke des ursprünglichen Stoßes zu der Stärke der Anziehung der Sonne abhängt, wieviel die Krümmung der Bahn im ersten und in jedem folgenden Augenblicke der Bewegung betragen wird. Dieses Verhältnis wird daher auch bestimmen, ob die Bahn des Körpers eine Ellipse, eine Parabel, oder eine Hyperbel ist, und ob z. B. die Ellipse eine stark oder schwach excentrische sein wird.

Man kann diese verschiedenen Fälle leicht genauer präzisieren. Nach den Prinzipien der Mechanik bewegt sich nämlich ein Körper in einer Parabel um die Sonne, wenn seine Geschwindigkeit in irgend einem Punkte seiner Bahn gleich ist der mit der Quadratwurzel aus 2 multiplizierten Charakteristik unseres Sonnensystems (I, § 78), dividiert durch die Quadratwurzel seiner Entfernung von der Sonne, in Teilen der halben großen Achse der Erdbahn ausgedrückt. Ist die Geschwindigkeit kleiner als diese Zahl, so geht der Körper in einer Ellipse einher: ist sie jedoch größer, so bewegt er sich in einer Hyperbel.

In Kilometern ausgedrückt und auf die Sekunde als Zeiteinheit bezogen, ist aber die Charakteristik unseres Sonnensystems $k = 29{\cdot}59$ (I, § 78) also $k\sqrt{2} = 41{\cdot}84$; nimmt man ferner Kürze wegen an, daß der Planet in demjenigen Punkte seiner Bahn, wo er der Sonne am nächsten steht, also in seinem Perihelium (I, § 127) entstanden ist, und nennt man q die Entfernung dieses Periheliums von dem Mittelpunkte der Sonne, in Teilen der halben großen Achse der Erdbahn ausgedrückt: bezeichnet man endlich mit P die Zahl 41·84 dividiert durch die Quadratwurzel von q, so würde die Bahn des Gestirnes um

die Sonne eine Ellipse, Parabel oder Hyperbel, je nachdem seine anfängliche Geschwindigkeit im Perihel kleiner, gleich oder größer als P war.

So lange also die anfängliche Geschwindigkeit zwischen Null und der Größe P liegt, entstehen immer Ellipsen, aber diese Ellipsen sind anfangs, bei einer sehr kleinen Geschwindigkeit, sehr länglich oder excentrisch. Wie diese Geschwindigkeit zunimmt, nimmt die Excentricität der Ellipsen ab, bis sie endlich, wenn die Geschwindigkeit nahe drei Vierteile*) von P beträgt, ganz verschwindet und die Bahn ein vollkommener Kreis wird. Wächst von diesem Punkte an die Geschwindigkeit noch weiter, so nimmt auch die Excentricität der nun entstehenden Ellipsen wieder immer mehr zu, bis sie endlich, wenn die Geschwindigkeit genau gleich P wird, in die Parabel und bei einer noch größeren Geschwindigkeit in Hyperbeln übergehen. Man sieht, daß auch hier bei der eigentlich mechanischen oder astronomischen Betrachtung der Kegelschnitte, wie dort bei der geometrischen, die Parabel als die Grenze zwischen den Ellipsen und Hyperbeln erscheint, und daß ebenso der Kreis den Übergang von der einen Gattung von Ellipsen zu der andern bildet.

Diese Bestimmung der Planetenbahnen setzt also die Kenntnis der ursprünglichen Geschwindigkeit derselben voraus. Allein woher sollen wir diese nehmen? Die Körper des Himmels sind wahrscheinlich vor Millionen von Jahren, zu einer Zeit entstanden, wo das ganze Menschengeschlecht noch nicht existierte. In welchem Archive sollen wir nun die Nachrichten aus jenen Zeiten suchen?

Wir werden unten sehen, daß die Bewegungen der Planeten, wie sie uns von den ältesten Beobachtern überliefert worden sind, auf das genaueste mit denen übereinkommen, die wir in unseren Tagen beobachten, und daß man sehr gute Gründe hat, die Unveränderlichkeit dieser Bewegungen selbst noch für viel größere Zeiträume mit Sicherheit vorauszusetzen. Wir dürfen daher nur jetzt die Geschwindigkeit eines dieser Himmelskörper zur Zeit seines Perihels beobachten, um versichert zu sein, daß er viele Jahrtausende durch in diesem Punkte seiner Bahn auch immer dieselbe Geschwindigkeit sowie denselben Abstand von der Sonne hatte und noch haben werde.

Unsere Erde z. B., um das Vorhergehende sogleich auf sie anzuwenden, ist in ihrem Perihelium um den 0·9832sten Teil der halben großen Achse ihrer elliptischen Bahn von dem Mittelpunkte der Sonne entfernt, und sie hat in diesem Punkte eine Geschwindigkeit von 30·09 km in einer Sekunde. Für diesen Fall ist also die Größe $q : 0{\cdot}9832$, und daher die Größe P gleich 42·19 km. Wäre demnach die Geschwindigkeit der Erde zur Zeit ihrer Entstehung in der Sonnennähe gleich 42·19 km gewesen, so würde ihre Bahn eine Parabel sein. Wäre diese Geschwindigkeit aber noch größer gewesen, so würde sich die Erde in einer Hyperbel um die Sonne bewegen. In diesen beiden Fällen würde

*) Genauer: 0·707, nämlich 1 dividiert durch $\sqrt{2}$.

sie sich in den unendlichen Ästen dieser krummen Linien immer mehr von der Sonne entfernt haben, ohne je wieder zu ihr zurückkehren zu können. Ihre anfängliche Geschwindigkeit war jedoch nur 30·09 km, oder 12·1 km kleiner als jene, die ihr so verderblich hätte werden können. Und eben weil sie kleiner als 42·19 war, wurde ihre Bahn eine Ellipse. Wäre diese Geschwindigkeit 29·84 km gewesen, also nur um 0·25 kleiner, so würde die Erdbahn ein vollkommener Kreis geworden sein; so aber gehört sie zu jenen Ellipsen, die (Fig. 100) unter dem Kreise, gegen die Parabel hin, und zwar sehr nahe an dem Kreise liegen, daher auch ihre Excentricität sehr klein ist oder ihre Gestalt der eines Kreises sehr nahe kommt.

Etwas anders verhält es sich schon mit Merkur, diesem der Sonne nächsten Planeten, für den die Größe P : 75·4 km beträgt. Eine solche Geschwindigkeit würde seine Bahn zu einer Parabel, und eine noch größere zu einer Hyperbel gemacht haben. Allein seine beobachtete Geschwindigkeit im Perihel ist 60·5, also 15 km kleiner als jene, und 7·2 km größer als die Kreisgeschwindigkeit; daher die Bahn Merkurs wohl noch eine Ellipse, aber eine von dem Kreise schon entferntere oder ziemlich excentrische Ellipse ist.

§ 17. (Wahrscheinlichkeit der Ellipse.) Man sieht, daß unter allen möglichen unzähligen Geschwindigkeiten, die ein Körper erhalten kann, nur eine einzige die Parabel und ebenso eine gewisse andere den Kreis hervorbringt, während es im Gegenteile unendlich viele giebt, welche die Bahn zu einer Ellipse oder Hyperbel machen. Daraus folgt die äußerst geringe Wahrscheinlichkeit, daß ein Körper unseres Systems sich um die Sonne in einem Kreise oder in einer Parabel bewege, um so mehr, als selbst, wenn solche Bahnen zufällig einmal entständen, die kleinste Änderung der Geschwindigkeit, etwa durch Anziehung eines dritten Körpers, hinreichte, dieselben in Ellipsen oder Hyperbeln zu verwandeln, welche beiden Linien man also als die bei weitem wahrscheinlichsten betrachten muß. Die Ellipse aber wird wieder im allgemeinen leichter stattfinden als die Hyperbel, weil zur Hervorbringung der Ellipse schon der geringste ursprüngliche Stoß hinreicht, während für die Hyperbel nur solche Kräfte genügen, die bereits eine bestimmte Größe übersteigen.

Wir werden also annehmen können, daß die im verkehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung wirkende Kraft der Sonne, verbunden mit der Kraft eines Impulses, welchen der Planet im Augenblicke seiner Entstehung erhalten hat, den Planeten im allgemeinen in einer Ellipse um die Sonne führt, in welcher die Sonne einen der beiden Brennpunkte einnimmt. Da sich nun der Planet, wenn er von seinem Aphelium ausgeht, in der ersten Hälfte seiner Bahn der Sonne nähert, in der darauf folgenden zweiten Hälfte aber wieder von ihr entfernt, so hört man von dem mit dem Gegenstande weniger bekannten Leser öfter den Zweifel aufwerfen, wie es möglich sei, daß die Kraft der Sonne, die doch den Planeten in allen Punkten seiner Bahn anziehen soll,

ihn auch zuweilen von sich entfernen könne. Durch eine geringe Überlegung wird man aber bald die Antwort auf diese Frage finden. Wenn ein Planet von seiner Sonnennähe ausgeht, so steht die Richtung seiner Bewegung, die immer durch die Tangente seiner Bahn angedeutet wird, senkrecht auf seinem Radius oder auf der Linie, welche ihn mit der Sonne verbindet. Da er hier der Sonne am nächsten ist, so wird er wohl am stärksten von ihr angezogen, aber auch seine Geschwindigkeit in der Tangente ist hier die größte, und da dieses Fortschreiten in der Tangente während einer bestimmten Zeit beträchtlicher ist als die Annäherung zur Sonne in derselben Zeit, so ist im Perihelium die Tangentialkraft die überwiegende, und der Planet muß sich von der Sonne entfernen. Während er nun in dieser ersten Hälfte seiner Bahn einhergeht, sucht ihn die Kraft der Sonne immerwährend an sich zu ziehen und seiner jetzt stattfindenden, von der Sonne abgewendeten Bewegung entgegenzuwirken. Dadurch vermindert sich allmählich die Tangentialgeschwindigkeit des Planeten solange, bis er endlich in seinem Aphelium ankommt. In diesem Punkte ist seine Tangentialkraft am kleinsten, sowie auch die Attraktion der Sonne wegen der sich bisher immer vergrößernden Entfernung des Planeten am schwächsten geworden. Allein dessenungeachtet ist die letzte Kraft in diesem Punkte der Bahn größer als die Tangentialkraft, oder mit anderen Worten, die Centralkraft überwiegt, und der Planet muß sich daher in der zweiten Hälfte seiner Bahn der Sonne wieder nähern, bis er im Perihelium ankommt, um von da ganz auf dieselbe Weise eine zweite Revolution um die Sonne zu wiederholen.

§ 18. (Mittelpunkt der freien Rotation der Planeten.) Es scheint hier der passendste Ort, die Besprechung zweier Prinzipien der Mechanik anzuschließen, welche für den ganzen Haushalt in der Natur von hervorragender Bedeutung sind. Das erste derselben ist bekannt unter dem Namen des Mittelpunktes der freien Rotation.

Sowohl die jährlichen Bewegungen der Planeten um die Sonne, als auch die täglichen Rotationen derselben um ihre Achsen, gehen, soweit wir sie kennen, alle in derselben Richtung von West gen Ost vor sich. Diesem gemäß hat jeder Punkt derjenigen Hälfte der Planeten, die eben der Sonne zugekehrt ist, eine doppelte Bewegung, nämlich erstens die um die Sonne, die überhaupt allen Punkten des Planeten gemein ist und von West nach Ost geht, und zweitens die tägliche um die Achse des Planeten, die in dieser Hälfte von Ost nach West geht, also mit der vorhergehenden eine entgegengesetzte Richtung hat. Diese letzte ist, da sie aus der Rotation entspringt, desto größer, je weiter der Punkt, den man eben betrachtet, von dem Mittelpunkte des Planeten entfernt ist, welcher letzte gar keine tägliche Bewegung hat. Es wird daher in dieser der Sonne zugekehrten Hälfte des Planeten auch irgend einen Punkt geben, dessen jährliche, östliche Bewegung genau gleich der täglichen, westlichen ist, und der daher während der doppelten Bewegung des Planeten als ruhend betrachtet werden kann. Man nennt in der Mechanik diesen Punkt den Mittelpunkt der freien Rotation.

Bezeichnet man mit r das Verhältnis des Halbmessers eines Planeten zu dem Halbmesser seiner Bahn, und mit s das Verhältnis seiner Umlaufszeit um die Sonne zur Rotationszeit um seine Achse, so findet man die Entfernung a des Mittelpunktes der freien Rotation vom Mittelpunkte des Planeten in Halbmessern des Planeten ausgedrückt, wenn man die Einheit durch das Produkt der beiden Größen r und s dividiert. Für die Erde z. B. ist $r = 0{\cdot}0000429$ und $s = 365{\cdot}26$, also das Produkt $rs = 0{\cdot}0157$ und $a = 63{\cdot}8$ Halbmesser der Erde, so daß er weit außer dieselbe, zwischen sie und die Sonne fällt. Bei Jupiter ist diese Distanz gleich 1·06, so daß also hier der Mittelpunkt der freien Rotation sehr nahe an der Oberfläche des Planeten liegt. Bei dem Monde endlich ist sie gleich 200 Mondhalbmessern oder nahe 60 Erdhalbmessern, d. h. sehr nahe gleich der mittleren Entfernung des Mondes von der Erde. Für den Mond fällt also jener Punkt sehr nahe in den Mittelpunkt der Erde, ein merkwürdiges Zusammentreffen, das vielleicht noch einmal nähere Aufschlüsse über das geheimnisvolle Band geben wird, welches den Mond mit der Erde verbindet.

§ 19. (Freie Achse der Rotation.) Ein zweites tief eingreifendes Prinzip der Mechanik ist das der freien Achse der Rotation.

Wir haben bereits oben (I, § 13) von der Schwungkraft gesprochen, vermöge welcher sich jedes Element eines Körpers, der sich um eine gerade Linie als um seine Achse dreht, in senkrechter Richtung von dieser Achse zu entfernen strebt. Da aber die Elemente durch den Zusammenhang des Körpers an diesem Entfernen gehindert werden, so entsteht daraus ein Druck auf die Rotationsachse. Dieser Druck liegt so wie die Centrifugalkraft in der Richtung der Linie, die von dem Elemente senkrecht auf die Achse gezogen wird, und ist offenbar desto größer, je größer diese Linie, d. h. je weiter das Element von der Rotationsachse absteht. Ist nun der Körper in Beziehung auf diese Achse nicht zu allen Seiten derselben symmetrisch gestellt, so wird dieser Druck ein Wanken der Rotationsachse und eine Störung der sonst gleichförmigen Drehung des Körpers erzeugen. Ist aber der Körper so gebaut und die Rotationsachse durch ihn so gestellt, daß jedem seiner Elemente auf der einen Seite der Achse ein gleich großes und gleich entferntes auf der anderen Seite derselben entspricht, so wird zwar jedes dieser Elemente einen Druck auf die Achse erzeugen, aber beide Pressungen werden gleich groß und einander in ihrer Richtung entgegengesetzt sein, d. h. beide Pressungen werden sich gegenseitig aufheben, und die Achse wird durch dieses Elementenpaar keinen Druck erleiden. Da dasselbe von jeden zwei anderen, ebenso gegen einander gestellten, Elementen gilt, und da, der Voraussetzung gemäß, der ganze Körper nur aus solchen Elementenpaaren besteht, so wird auch die Drehungsachse eines solchen Körpers keinen Druck erleiden, oder sie wird eine sogenannte freie Achse sein. Für eine Kugel z. B. sind alle Durchmesser derselben solche freie Achsen, und ebenso ist für ein Ellipsoid, das durch die Umdrehung einer Ellipse um ihre große oder kleine Achse entsteht, die große oder die kleine Achse eine freie, weil

alle auf die Rotationsachse senkrechten Schnitte des Ellipsoids Kreise sind, deren Mittelpunkte sämtlich in dieser Achse liegen.

Weitere geometrische oder vielmehr mechanische Untersuchungen haben gezeigt, daß jeder Körper, so unregelmäßig er auch geformt sein mag, immer wenigstens drei freie Achsen habe, und daß sich dieselben in seinem Schwerpunkte in unter einander senkrechten Richtungen durchschneiden. Bei der Kugel sind alle Durchmesser derselben freie Achsen, und bei einem Rotationsellipsoid ist nicht nur diejenige Achse, um welche die Ellipse gedreht wird, sondern auch jeder Durchmesser des Äquators eine freie Achse.

§ 20. (Stabilität der Rotationsachsen der Planeten.) Wenden wir das Vorhergehende auf die Planeten an, die zur Zeit ihrer Entstehung wahrscheinlich die Gestalt einer Kugel hatten. Der primitive Stoß, dem sie ihre Bewegung verdanken, gab ihnen eine Rotation um einen ihrer Durchmesser, d. h. also um eine freie Achse. Durch die so entstehende Rotation wurde die Kugel an ihren Polen abgeplattet und in ein Ellipsoid verwandelt, das durch die Umdrehung einer Ellipse um ihre kleine Achse entsteht. Dadurch hörte die ursprüngliche Drehungsachse nicht auf, eine freie Achse zu sein: die Planeten bewegen sich also um freie Achsen und setzen auch ihre Rotation um diese ungestört und ohne Ende fort. Ja, die Abplattung derselben trägt selbst wesentlich dazu bei, die Rotationsachse immer in derselben Lage zu erhalten, da sie, wenn sie auch durch äußere Kräfte etwas aus ihrer Richtung gelenkt werden sollte, eben durch die Abplattung sogleich wieder in ihre frühere Lage zurückgebracht werden müßte, während im Gegenteile, wenn die große Achse der erzeugenden Ellipse die Rotationsachse des Körpers geworden wäre, schon die geringste Störung derselben hinreichend sein würde, diese Achse immer mehr von ihrer früheren Lage zu entfernen.

Damit wird nun auch klar, warum die von Sonne und Mond auf die abgeplattete und rotierende Erde geübte Wirkung, welche wir (I, § 50 und II, § 183) unter dem Namen der Präzession besprachen und die an sich in einem Nähern des Äquators der Erde zur Ekliptik bestehen sollte, durch die Stabilität der Erdachse sich in ein Fortrücken der Nachtgleichen umsetzt. Dies wurde von Bohnenberger in einem Maschinchen zur Anschauung gebracht, in welchem der Erdkörper durch eine, um alle sie centrisch schneidenden Linien drehbare Kugel dargestellt wird und der Äquator durch einseitige Einwirkung der Schwere auf dessen Achse aus seiner Lage gerückt werden soll, nachdem man ihn schief gegen den Horizont gestellt und die Kugel in rasche Rotation versetzt hat. Bei dieser Anordnung zeigt sich sogleich die Beständigkeit der Neigung des Äquators gegen den Horizont, der hier die Ekliptik vorstellt, und dafür eine Bewegung der Knoten des Äquators mit dem Horizonte gegen die Rotationsrichtung der Kugel (vergl. I, § 17, Schluß). Auf Anraten von Laplace wurde diese Maschine in allen Centralschulen Frankreichs als Unterrichtsmittel eingeführt, da sie die sonst dem Laien schwer verständliche Erscheinung der Präzession so sinnreich verdeutlicht.

Die in eine Periode von 19 Jahren eingeschlossenen kleinen Änderungen sowohl der Schiefe der Ekliptik als der Präzession, die wir (I, § 56) als Nutation kennen lernten, rühren hauptsächlich daher, daß die Mondbahn nicht ganz, sondern nur beiläufig mit der Ekliptik zusammenfällt und der Mond vermöge der Bewegung seiner Knoten erst nach je 19 Jahren wieder in dieselbe Lage gegen Sonne und Ekliptik zurückkehrt.

Kapitel II.

Masse, Dichte und Gestalt der Himmelskörper.

§ 21. (Nähere Bestimmung des Gesetzes der allgemeinen Schwere.) Wir haben in dem vorhergehenden Kapitel das Gesetz der allgemeinen Schwere in seinem einfachsten Ausdrucke betrachtet und bereits dort die Bemerkung beigefügt, daß beinahe unsere ganze neuere Astronomie nur eine weitere Entwicklung dieses Gesetzes ist. In der That, wie jede neue, selbst die scheinbar geringfügigste Entdeckung nur selten allein steht, sondern immer eine Reihe von andern, oft viel wichtigeren, nach sich zieht, so mußte dasselbe in einem noch viel höheren Grade von dieser Entdeckung erwartet werden, die ihrer Natur nach sich über das ganze Sonnensystem, über den ganzen uns bekannten Teil des Himmels verbreitet. Nachdem dieses große Gesetz einmal bekannt war, sah man aus ihm, wie aus einer reichen Quelle, eine große Menge anderer Entdeckungen entspringen, wichtiger und wunderbarer Entdeckungen, deren Dasein die Alten nicht einmal ahnen konnten, da ihnen alle Wege, die zu denselben führten, fest verschlossen bleiben mußten, so lange ihnen jenes Gesetz selbst, dessen unmittelbare Folge sie sind, unbekannt war. Ehe wir aber zur Besprechung einiger der bedeutendsten und interessantesten dieser Entdeckungen schreiten, müssen wir noch eine wichtige Ergänzung des Gesetzes der allgemeinen Schwere nachtragen, die wir früher vorläufig übergehen konnten, wo wir es des besseren Verständnisses wegen, in seiner einfachsten Gestalt gegeben haben.

Nach jenem Gesetze ziehen sich alle Körper gegenseitig im verkehrten Quadrate ihrer Entfernungen an. Wenn also z. B. ein Satellit Jupiters oder Saturns einen Stein in der Entfernung von 100 km in der ersten Sekunde um 1 m gegen sich anzieht, so wird er diesen Stein in der doppelten Entfernung von 200 km nur mehr um $^1/_4$, in der Entfernung von 300, 400, 500 km nur um $^1/_9$, $^1/_{16}$, $^1/_{25}$ m in der ersten Sekunde anziehen, und so fort, nur mit dem Unterschiede, daß z. B. ein zweiter Satellit jenen Stein in der Entfernung von 100 km nicht um einen ganzen, sondern vielleicht nur um einen halben Meter in der Sekunde anziehen wird. Bei beiden wird sich also, jenem allgemeinen Gesetze gemäß, die Anziehung des Steines wie verkehrt das Quadrat seiner Entfernung verhalten, aber diese Anziehung selbst wird bei dem zweiten Satelliten nur die

Hälfte des ersten sein, oder sie wird für 100 km $^1/_2$ m, für 200 km $^1/_8$, für 300 km $^1/_{18}$, für 400 km $^1/_{32}$ m u. s. f. betragen.

Man sieht daraus, daß die Art, nach welcher die Anziehung der Körper wirkt, bei allen dieselbe, daß aber ihre Größe bei verschiedenen Körpern sehr verschieden sein kann, etwa so, wie z. B. alle Pferde den Wagen, vor den sie gespannt werden, auf dieselbe Weise ziehen, während doch das eine derselben ihn viel stärker oder schwächer zieht als das andere, je nachdem es mit einer größeren oder geringeren Muskelkraft begabt ist. Was ist es nun, das die Stelle der Muskelkraft bei den Körpern des Himmels vertritt?

Wir kennen allerdings nicht, was eigentlich die Kraft der Himmelskörper sei, mit der sie alle anderen anziehen, oder woher sie komme, und werden dies wohl auch schwerlich je ergründen: immerhin werden wir aber doch annehmen müssen, daß sie einem jeden einzelnen Teile, einem jeden der Elemente innewohne, aus welchen diese Körper, als aus den kleinsten Teilchen ihrer Art zusammengesetzt sind. Dieser Voraussetzung gemäß wird die ganze Kraft, mit welcher ein Körper den andern anzieht, eben nur die Summe aller jener Kräfte sein, die den einzelnen Elementen, aus denen er besteht, zukommen, und infolgedessen offenbar desto größer sein, je größer die Anzahl dieser Elemente, d. h. mit andern Worten, je größer die Masse des ganzen anziehenden Körpers ist, indem wir unter diesem Worte die Summe aller den Körper konstituierenden Atome zu verstehen pflegen.

So fallen, um dies auf unsere Erde anzuwenden, die Körper auf der Oberfläche derselben in der ersten Sekunde durch 4·9 m, und diese Erscheinung kann als die Wirkung der Attraktionskraft, als das eigentliche Maß der Kraft der Erde angesehen werden. Wenn aber diese Erde, welche im Mittel die Dichtigkeit des Flußspats hat, 5mal mehr Masse in sich enthielte oder die Dichtigkeit unseres Goldes hätte, so würde auch die Kraft ihrer Attraktion für dieselbe Entfernung 5mal größer werden, oder die Körper würden dann an ihrer Oberfläche nicht mehr 4.9, sondern 5mal so viel, also 24·5 m in der ersten Sekunde fallen.

Dasselbe gilt von zwei anderen Kugeln, deren Massen unter sich verschieden sind. Unser Mond z. B. hat nur den 80sten Teil der Masse der Erde. Er wird also auch einen Körper 80mal schwächer anziehen als die Erde, vorausgesetzt, daß der Körper in beiden Fällen gleich weit von dem Mittelpunkte der Erde oder des Mondes entfernt ist.

So lange man daher nur von einem einzigen Körper spricht, wird man noch immer, wie zuvor, sagen können, daß sich seine Anziehung verkehrt wie das Quadrat seiner Entfernung verhält. Aber wenn man die Anziehung von zwei oder mehreren Körpern unter einander vergleichen oder wenn man allgemein sprechen will, so wird man sagen müssen: die Anziehung jedes Körpers verhält sich direkt wie seine Masse, und umgekehrt wie das Quadrat seiner Entfernung; mit anderen Worten: die Anziehung eines jeden Körpers ist gleich seiner Masse, dividiert durch das Quadrat seiner Entfernung.

Als das geeignetste Maß für die Anziehung können wir dem obigen zufolge den Fallraum ansehen, welchen die Körper auf der Oberfläche der Erde während der ersten Sekunde zurücklegen (4·9 m), da diese Fallräume der Anziehung direkt proportional sind. Das Gesetz der allgemeinen Schwere kann man daher auch so aussprechen: der Fallraum eines Körpers während der ersten Sekunde in Metern, ist gleich 4·9 multipliziert mit der Masse des anziehenden Körpers, und dividiert durch das Quadrat seiner Entfernung, in Erdhalbmessern ausgedrückt. Drückt man nun auch die Masse des anziehenden Körpers in Einheiten der Erdmasse aus, so erhält man für den Fallraum f eines Körpers, der um a Erdhalbmesser vom Mittelpunkte eines Gestirnes mit der Masse M absteht, während der ersten Sekunde in Metern den Ausdruck:

$$f = \frac{4{\cdot}9\ M}{a^2}$$

Für Saturn, dessen Masse 92mal größer als die Erdmasse ist, erhält man also die Anziehung desselben auf alle Körper außer ihm, wenn man die Zahl 450·8 oder rund 451 durch das Quadrat von a dividiert, wo die Entfernung a in Teilen des Erdhalbmessers auszudrücken ist. Demnach wird die Anziehung Saturns auf einen Körper der von seinem Mittelpunkte 10, 20, 30 . . . Erdhalbmesser, entfernt ist, 4·5 1·1, 0·5 . . m betragen.

§ 22. (Berechnung der Acceleration der Schwere, und des Gewichtes auf den Himmelskörper.) Um eine interessante Anwendung des eben erörterten Satzes zu geben, wollen wir versuchen, mit Hilfe desselben die Frage zu beantworten, wie tief denn die Körper in der ersten Sekunde beispielsweise auf unserem Monde fallen?

Die Masse des Mondes beträgt nur den 80sten Teil der Erdmasse, oder es ist in unserer früheren Bezeichnungsweise $M = 1:80 = 0{\cdot}0125$. Der Halbmesser des Mondes aber beträgt 1741 km, während der der Erde 6378 km hat, so daß jener 0·2733 ist, wenn der Halbmesser der Erde für die Einheit angenommen wird.

Die Frage nach dem Fallraume auf der Oberfläche des Mondes während der ersten Sekunde, oder mit andern Worten die Frage nach der Acceleration der Schwere auf dem Monde, ist daher reduziert auf die Berechnung des Fallraumes für einen Körper von der Masse $M = 0{\cdot}0125$ in der Entfernung $a = 0{\cdot}2733$ von seinem Mittelpunkte. Da nun $4{\cdot}9 \times 0{\cdot}0125 = 0{\cdot}06125$ und $0{\cdot}2733^2 = 0{\cdot}07469$ ist, so ist unserer obigen Formel zufolge:

$$f = 0{\cdot}82 \text{ m}.$$

Auf der Oberfläche des Mondes fallen also die Körper in der ersten Sekunde durch 0·82 m, oder nur durch den sechsten Teil des Weges, durch welchen sie auf der Oberfläche der Erde fallen. Die Seleniten werden sich deshalb in allen den Fällen eines großen Vorteils über uns zu erfreuen haben, wo es sich darum handelt, der Kraft der Schwere entgegenzuarbeiten. Wenn sie z. B. ihre Wagen, ihre Hebel, ihr Rad an der Welle u. dgl. durch elastische Federn, durch entwickelte Dämpfe, durch ihre eigene oder durch die Muskelkraft ihrer Tiere in Be-

wegung setzen wollen, so werden sie mit einem 6mal geringeren Kraftaufwande schon ihr Ziel erreichen. So würden unsere Pferde auf dem Monde, unter übrigens gleichen Umständen, viel größere Lasten ziehen und ohne zu ermüden viel schneller laufen können als auf der Erde, und die Grotesque-Tänzer des Mondes, wenn es solche giebt, und wenn sie dieselbe Muskelkraft wie die unseren besitzen, werden mit derselben Anstrengung 6mal höhere Sprünge machen können, weil sie auch nur durch eine 6mal geringere Kraft zu ihrer Erde zurückgezogen werden.

Ganz ebenso leicht wie für den Mond wird man auch den Fall der Körper auf der Oberfläche jedes anderen Planeten unseres Sonnensystems finden, wenn man die Masse und den Halbmesser desselben gegen die Masse und den Halbmesser unserer Erde kennt. So haben wir bereits oben die Masse Saturns 92mal größer als die der Erde gesetzt. Allein der Halbmesser dieses Planeten beträgt nahe 9·7 Halbmesser der Erde; seine Anziehung wird also gleich der Zahl 4·9 multipliziert mit 92 und dividiert durch das Quadrat von 9·7 oder 94, also 4·8 m sein; d. h. auf der Oberfläche Saturns fallen die Körper in der ersten Sekunde durch 4·8 m, oder nahe ebenso tief wie auf der Erde. Ebenso findet man, da die Masse Jupiters 308 und die des Mars nur 0·11 von jener der Erde beträgt, während der Halbmesser Jupiters 11·25 und der des Mars nur 0·5 Erdhalbmesser hat, daß die Körper auf der Oberfläche Jupiters in einer Sekunde durch 10·9 m und auf der Oberfläche des Mars nur durch 1·9 m fallen. Die Masse der Sonne endlich ist 323 000mal größer als die der Erde, und ihr Halbmesser beträgt 109 Erdhalbmesser; also fallen auch die Körper auf der Oberfläche der Sonne in einer Sekunde durch 135·6 m oder rund 28mal so schnell als auf der Erde.

Da der Fall der Körper oder, was dasselbe ist, da die Attraktion der Planeten eigentlich das, was wir das Gewicht der Körper nennen, bestimmt, so folgt auch aus dem Vorhergehenden unmittelbar, daß ein Körper, der z. B. bei uns 1 kg wiegt, auf der Oberfläche des Mondes viel leichter sein und nur mehr den sechsten Teil eines Kilogramm wiegen wird, während er auf der Sonne 28 kg wiegen muß. Es versteht sich aber wohl von selbst, daß sich diese Verschiedenheit in dem Gewichte der Körper nicht durch unsere Wagen nachweisen lassen wird, weil das eigentliche Gewicht, welches wir in die andere Wagschale zu legen pflegen, um dadurch das Gewicht des Körpers zu finden, auch, und zwar auf dieselbe Weise, von der Schwere seines Planeten affiziert wird, und daher z. B. auf dem Monde auch nur den sechsten Teil seines irdischen Gewichtes haben kann. Statt des Wortes Gewicht werden wir daher der besseren Verständlichkeit wegen das Wort Druck gebrauchen und sagen, daß ein Körper, der auf der Erde mit der Kraft von 1 kg auf seine Unterlage drückt, auf dem Monde nur mit $^1/_6$, auf Jupiter mit 2·5 und auf der Sonne mit 28 kg auf seine Unterlage drücken wird.

§ 23. (Bestimmung der Masse der Sonne.) Nach dem Gesetze der allgemeinen

Gravitation ist die Attraktionskraft eines jeden Körpers auf einen außer ihm gelegenen Punkt der Masse dieses Körpers, dividiert durch das Quadrat seiner Entfernung von dem angezogenen Punkte, proportional (§ 21). Also ist auch umgekehrt: die Masse des anziehenden Körpers der Anziehungskraft desselben, multipliziert in das Quadrat der Entfernung, proportional.

So gestellt, lehrt dieses Gesetz uns auch die Massen der Himmelskörper finden, wenn man ihre Anziehung auf einen gegebenen äußeren Körper kennt.

Wenden wir dies auf die Bestimmung der Masse unserer Sonne an, so haben wir zuerst den Fall der Erde gegen die Sonne zu ermitteln. Gehen wir dabei ganz nach dem Muster von § 7 vor, so erhalten wir, da die siderische Umlaufszeit der Erde 365·25636 Tage oder 31 558 149·5^s und der Halbmesser der Erdbahn 23 306·8 Erdhalbmesser beträgt, für den Umfang der Erdbahn 146 440 und damit für den von der Erde in 1^s zurückgelegten Bogen AM (Fig. 97, S. 772) 0·00464037 Erdhalbmesser, oder wenn man, wie früher nach Picard, den Erdhalbmesser zu 6 372 000 m annimmt, für AM 29 568 m. Nach der im eben angezogenen Paragraphen angeführten Formel ist nun die gesuchte Linie BM, um welche die Erde in 1^s zur Sonne fällt, gleich dem Quadrate von 29 568 dividiert durch das Produkt von 2 mal 23 306·8 in 6 372 000, das heißt gleich 0·0029435 m, und diese Zahl haben wir nach dem Vorhergehenden noch mit dem Quadrate der Entfernung zu multiplizieren.

Wir haben oben (§ 7) den Fallraum des Mondes gegen die Erde zu 0·00136 m berechnet, und auch dies wäre mit dem Quadrate der entsprechenden Entfernung zu multiplizieren. Wir können uns aber die Arbeit bedeutend vereinfachen, wenn wir die Entfernung des Mondes von der Erde als Einheit annehmen, weil dann die letztgenannte Zahl durch die Multiplikation mit dem Quadrate der Entfernung keine Änderung erleidet. Die Entfernung der Erde von der Sonne haben wir aber soeben zu 23 306·8 und die des Mondes von der Erde früher (§ 7) zu 60·2778 Halbmessern der Erde angegeben: folglich ist die Entfernung der Erde von der Sonne in Einheiten der Entfernung des Mondes von der Erde ausgedrückt: 23 306·8 dividiert durch 60·2778 oder 386·66. Wir haben nun noch den Fallraum 0·0029435 m der Erde gegen die Sonne mit dem Quadrate dieser Zahl zu multiplizieren, wodurch wir 440·06 erhalten; es verhält sich deshalb nach dem Lehrsatze am Eingange dieses Paragraphen die Masse der Sonne zur Masse der Erde wie die Zahlen 440·06 zu 0·00136 oder in runder Summe wie 323 000 zu 1.

Übrigens können wir uns mit einer geringen Änderung das ganze Geschäft der Massenbestimmung abkürzen. Es wird nämlich (Fig. 97) die Anziehung durch die kleine Linie BM vorgestellt: es ist daher die Masse dem Produkte von BM in das Quadrat der Entfernung AC proportional. Allein die Linie BM ist gleich dem Quadrate von AM dividiert durch die doppelte Entfernung AC:

also ist die Masse auch dem Quadrate von AM multipliziert mit der halben Entfernung AC proportional.

Nun haben wir für den Mond gefunden AM: 1022 m, oder 1·022 km und für die Erde AM: 29·568 km. Messen wir wieder alle Entfernungen in Einheiten der Entfernung des Mondes von der Erde, so ist für den Mond AC gleich 1 und für die Erde wie früher 386·66; es ist daher das Produkt $^1/_2$ AM^2. AC für den Mond: 0·522, für die Erde 169 000 und das Verhältnis beider, wie oben, in runden Zahlen 1 zu 323 000.

Man sieht, daß die vorhergehende Bestimmung der Massen sich eigentlich darauf reduziert, daß man für zwei Centralkörper die Größe des Falles bestimmt, den die von ihnen angezogenen Körper während einer Sekunde erleiden, und daß man nur diesen Fall beider Körper auf dieselbe Entfernung bringen darf, um sofort auch das Verhältnis der Massen beider Centralkörper zu erhalten. So ist die Sonne der Centralkörper für die Erde, und diese ist wieder der Centralkörper für den Mond, sowie Jupiter ebenfalls der Centralkörper für seine 5 Satelliten ist. Ganz ebenso kann man aber auch den Mittelpunkt der Erde als den Centralkörper für die auf der Oberfläche der Erde frei fallenden Körper betrachten, und da die Größe dieses Falles aus den Beobachtungen bekannt ist, so läßt sich auch daraus die Masse der Sonne ohne Beihilfe des Mondes unmittelbar ableiten. In der That, der Fall auf der Oberfläche der Erde beträgt, wie wir schon öfter erwähnt haben, 4·905 m während 1^s, und die Entfernung der fallenden Körper von dem Mittelpunkt der Erde ist dem Halbmesser der Erde gleich. Wenn aber diese Körper 23 307 mal weiter, d. h. wenn sie so weit als die Erde von der Sonne von dem Mittelpunkte der Erde entfernt wären, so würden sie, unserem allgemeinen Gesetze gemäß, in der ersten Sekunde nur durch 4·905 dividiert durch das Quadrat von 23 307, das heißt, nur durch den Raum von 0·00000000903 m gegen ihren Centralpunkt, den Mittelpunkt der Erde, fallen. Allein die Erde selbst fällt gegen ihren eigenen Centralpunkt, d. h. gegen die Sonne, wie wir oben gesehen haben, in derselben Zeit durch 0·00294 m. Da nun diese beiden Fallhöhen sich wie die beiden anziehenden Kräfte, d. h. wie die Massen der beiden anziehenden Körper verhalten, verhält sich die Masse der Sonne zu jener der Erde wie die beiden letztgenannten Zahlen, d. h. wie 324 000 zu 1, was bis auf eine unbedeutende Differenz, die daher rührt, daß wir zur Erleichterung der Rechnung nur runde Zahlen anwendeten und die Bahnen von Erde und Mond als Kreise voraussetzten, auch früher gefunden wurde.

§ 24. (Analoge Bestimmung der Masse der Planeten, und derjenigen von Doppelsternen.) Ganz ebenso wird man auch die Masse aller derjenigen Planeten bestimmen können, die mit Satelliten versehen sind. Der vierte Satellit Jupiters z. B. vollendet den Umlauf um seinen Hauptplaneten in 14·6890 Tagen oder 1 441 930^s, in einer mittleren Entfernung von 0·012585 Halbmessern der Erdbahn, oder 1 870 000 km, woraus folgt, daß er in einer Zeitsekunde einen Bogen AM von

8·1485 km zurücklegt. Nehmen wir jetzt die Entfernung des Jupitermondes vom Centrum seines Hauptplaneten als Einheit an, so ist, in dieser Einheit gemessen, die Entfernung der Erde von der Sonne 79·46; es ist daher für den Jupitermond das Produkt $\frac{1}{2}$ AM^2. AC = 33·2 und für die Sonne 34 735·1; es verhält sich daher die Masse der Sonne zur Masse von Jupiter, wie 34 735·1 zu 33·2 oder wie 1046 zu 1. Ebenso findet man, daß die Masse Saturns 1/3500, die von Uranus 1/22 000 der Sonnenmasse beträgt, u. s. w.

Daß man auf dieselbe Art, überall dort, wo man die Entfernung und die Bahn eines Doppelsternes kennt, auch die Masse desselben bestimmen kann, folgt aus dem Obigen von selbst, und haben wir, den hier gegebenen Erläuterungen vorgreifend, bereits früher (II, § 191) an ξ Krebs, α Centaur, 70 Ophiuchus, η Kassiopeja (Nr. 18, 22, 23, 33) 40 o^2 Eridanus, 61 Schwan, und Sirius (II, § 194) Beispiele dafür vorgeführt.

§ 25. (Abplattung durch Rotation.) Nachdem wir die Wirkungen der allgemeinen Attraktion auf die Bahnen der Planeten untersucht haben, wollen wir noch einen kurzen Blick auf den Einfluß werfen, welchen dasselbe Gesetz der allgemeinen Attraktion auf die Gestalt der Planeten ausübt.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß diese Körper nicht auf einmal, sondern daß sie erst nach und nach aus der primitiven Materie, aus dem Urstoffe des Weltalls entstanden sind, in welchem einzelne vorherrschende Punkte die sie zunächst umgebende, anfangs wahrscheinlich noch flüssige Masse anzogen und in mehr oder weniger regelmäßigen Schichten um sich ablagerten. Wo immer jene Materie mehr gleichförmig verteilt war, und wo diese Ablagerung in einer bestimmten Ordnung vor sich ging, mußte sich auch der so entstehende und allmählich fortbildende Körper zu einer regelmäßigen Form, im allgemeinen zur Kugelform ausbilden, deren Dichtigkeit gegen den Mittelpunkt derselben immer größer wurde, weil hier die Kraft der Anziehung des Mittelpunktes sowohl wie auch der Druck der weiter entfernten Schichten größer war als in bedeutenden Distanzen von dem Mittelpunkte. Wir sehen in der That diese Art der Entstehung und Fortbildung bei allen flüssigen Körpern der Erde, und jeder Regentropfen kann uns als Beispiel für jene großen Tropfen des Himmels dienen.

Da aber während der stufenweisen Ausbildung des neuen Weltkörpers auch andere, ihm benachbarte auf ihn einwirken mußten, konnte jene Kugelgestalt nicht ganz rein erhalten werden. Der anfangs weiche Planet, dessen feste und flüssige Teile noch unter einander gemischt waren, und der durch die Anziehung der benachbarten Körper in eine Bewegung um sich selbst, in Rotation gesetzt wurde, mußte durch die Centrifugalkraft (I, § 13) dieser Rotation an seinem Äquator sich erheben und die Gestalt einer an ihren beiden Polen abgeplatteten Kugel erhalten. Die Beobachtungen zeigen uns in der That diese Gestalt bei allen Himmelskörpern, die uns nahe genug sind, um ihre Abplattung noch zu unterscheiden.

Man kann durch Rechnung streng beweisen, daß eine Masse von durchaus

gleicher Dichte durch die Rotation die Gestalt eines Sphäroides, d. h. eines Körpers erhalten müsse, der durch die Umdrehung einer Ellipse um ihre kleine Achse entsteht. Auch eine nicht homogene Masse nimmt bei der Rotation die Gestalt eines Sphäroides an, wenn die Dichte derselben gesetzmäßig sich ändert, und zwar wird die Abplattung stärker, wenn die Dichte im Innern des Körpers zunimmt. Wendet man diese Rechnungen auf die Erde an, so müßte ihre Abplattung nahe gleich $^1/_{580}$ sein, falls sie durchaus dieselbe Dichte besäße: in Wirklichkeit aber ist ihre Abplattung den Beobachtungen zufolge gleich $^1/_{300}$, also nahe doppelt so groß, ein Zeichen, daß ihre Dichte nach innen hin zunimmt, mit anderen Worten, daß die Dichte der Erde an ihrer Oberfläche geringer ist als in ihrem Mittelpunkte.

§ 26. (Lage der Erdachse in früheren Zeiten.) Es ist mehrfach die Idee ausgesprochen worden, daß die Umdrehungsachse der Erde in der grauen Vorzeit eine andere Lage gehabt habe, als heutzutage: ja man ging sogar so weit, den Äquator in Gegenden zu versetzen, welche jetzt die Pole einnehmen. Man erdachte diese extravaganten Hypothesen, einerseits um die Erscheinungen der Eiszeit, andererseits um die Überreste von Tieren und Pflanzen der Tropenländer zu erklären, die man so häufig in den kalten Zonen findet. So wurde im Jahre 1771 an dem sandigen Ufer des Flusses Wilhui in Sibirien ein ganz gut erhaltenes Rhinoceros einige Fuß tief unter der Erde entdeckt, dessen Haut noch nicht von der Verwesung ergriffen war, und im Jahre 1799 wurde am Ausflusse der Lena ein ungewöhnlich großer Elefant in einen Eisblock eingeschlossen gefunden, dessen Fleisch noch so frisch gewesen sein soll, daß die Jakuten ihre Hunde damit füttern konnten.

Diese und ähnliche Erscheinungen wollte man durch eine Änderung der Rotationsachse der Erde erklären, ohne zu bedenken, daß, wenn diese Änderung langsam vor sich gegangen wäre, damit eigentlich gar nichts erklärt würde, weil ja diese Tiere unmittelbar nach ihrem Tode haben einfrieren müssen, um vor der Fäulnis bewahrt zu bleiben. Trat aber diese Veränderung plötzlich, so zu sagen stoßweise ein, so hätte sie, wie an einem anderen Orte (II, § 150) ausführlicher erörtert wurde, für die ganze Erde, nicht blos einige Gegenden derselben von den verhängnisvollsten Folgen begleitet sein und Spuren ganz anderer Art zurückgelassen haben müssen, von denen wir aber an der Erdoberfläche nichts bemerken.

Wir werden uns daher um eine andere Erklärungsursache dieser Erscheinungen umsehen müssen, und da drängt sich vor allem die Frage auf: ist es denn nicht vielleicht möglich, daß vor Zeiten auch in dem gegenwärtigen Klima Sibiriens elefantenähnliche Tiere gelebt haben?

Der an der Lena gefundene Elefant war allerdings seiner Größe und Gestalt nach denen gleich, die wir noch jetzt im südlichen Asien finden. Seine beiden Hauzähne hatten 3 m Länge und sein Kopf wog 2 Centner. Allein seine Haut war mit einer dichten braunen Wolle bedeckt, aus der starke, schwarze Haare hervorragten, und der Hals des Tieres war mit einer löwenartigen Mähne besetzt.

Ebenso war die Haut jenes Rhinoceros mit steifen, 8 cm langen Borsten oder Haaren bedeckt. Unter einem solchen Pelze konnten die Tiere das Klima Sibiriens sehr wohl ertragen, während ihre Stammesgenossen in Indien jene strenge Kälte nicht ertragen würden. Übrigens wandern auch diese Tiere des Südens zur Sommerzeit oft sehr weit gegen Norden hin, und man sieht den Königstiger Indiens seine Exkursionen bis an den westlichen Abhang des Altaiberges, nahe bei Barnaul (53° nördlicher Breite) ausdehnen. Dasselbe konnte auch in der Vorzeit mit dem Elefanten geschehen sein, und dann war ein Einsinken desselben im leichten Grunde oder ein Erdfall mit einer darauf folgenden strengen Kälte schon hinreichend, diese Tiere zu begraben und ihre Körper vor der Verwesung zu schützen, ohne erst die Pole der Erde aus ihren Angeln zu heben.

Auf eine ähnliche Weise wollte auch Halley die Kälte in Nordamerika erklären, die viel größer ist als in denselben Breiten Europas. Nach seiner Ansicht wurde der Pol der Erde, der früher in der Nähe der Hudsonsbay gelegen war, durch den Stoß eines Kometen in diejenige Gegend versetzt, die er jetzt einnimmt, und die einer so großen Kälte ausgesetzte Gegend des früheren Nordpoles habe seitdem noch keine Zeit gehabt sich zu erwärmen! Und doch liegt die Erklärung gerade dieser Erscheinung so nahe. Wir haben nämlich schon bei der Besprechung der Jahreszeiten (I, § 35) darauf hingewiesen, daß das Klima eines Landes oft viel weniger von seiner geographischen Lage als von lokalen Einflüssen bedingt sei. So verdanken beispielsweise die nördlichen Breiten Europas ihre hohe Temperatur fast nur dem Golfstrome: würde dieser aus seiner gegenwärtigen Bahn gelenkt, so würde sofort die mittlere Jahrestemperatur Nordeuropas empfindlich sinken. An Ursachen, die dies dermaleinst bewirken könnten, fehlt es aber nicht. Wir wissen jetzt, daß die feste Erdkruste kein starrer unbeweglicher Körper ist, sondern daß sie sich im Gegenteile in beständiger Bewegung befindet. Ganze weite Länderstrecken sind in allmählicher Senkung, andere ebenso in allmählicher Hebung begriffen, und wenn diese Bewegungen auch so langsam vor sich gehen, daß sie in der kurzen Spanne Zeit von wenigen Jahren, selbst Jahrhunderten keine auffälligen Veränderungen herbeiführen, können sie doch, wenn sie jahrtausendelang in demselben Sinne fortdauern, nach und nach die Konfiguration, Ausdehnung und Höhenverhältnisse ganzer Kontinente, und damit ihr Klima vollständig umgestalten. Treten hierzu noch jene Änderungen, welche durch die Änderung der Excentricität der Erdbahn (unten § 62) in den Temperaturverhältnissen auf der Erdoberfläche bedingt werden, dann ersieht man wohl ohne Schwierigkeit, daß man damit auch die Eiszeit erklären kann, ohne daß man nötig hätte, großartige, plötzlich und gewaltsam hereinbrechende Umwälzungen zu Hilfe zu rufen, deren Schauplatz unser Wohnsitz in jenen entlegenen Zeiten gewesen sein soll. Dauernde Versetzungen der Pole können überhaupt nie eintreten, indem die Rotationsachse der Erde infolge ihrer Stabilität (§ 20) allmählich wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückkehren würde, auch wenn sie, etwa durch

den Zusammenstoß mit einem Kometen, temporär aus derselben gebracht worden wäre. Hingegen ist es gar nicht ausgeschlossen, daß die Abweichungen der Erde von der Gestalt eines reinen Rotationsellipsoides, welche durch die ungleiche Verteilung der Kontinente und Gebirgszüge bedingt sind, sowie Hebungen und Senkungen ganzer Länderstriche oder andere Vorgänge, welche Änderungen der Massenverteilung auf ihrer Oberfläche hervorrufen, geringfügige pendelartige Schwingungen der Rotationsachse der Erde um ihre mittlere Lage nach sich ziehen können. Die genaue Erforschung dieser interessanten Bewegungen und des Gesetzes, nach dem sie vor sich gehen, ist seit einer Reihe von Jahren zum Gegenstande intensiver Studien und Forschungen gemacht worden.

§ 27. (Unveränderlichkeit der Rotationsdauer der Erde.) Ebenso unveränderlich wie die Lage der Rotationsachse, scheint auch die Dauer dieser Rotation oder die Länge des Sterntages zu sein. Diese schon aus theoretischen Gründen zu vermutende Unveränderlichkeit des Sterntages (I, § 93) haben zunächst die Umlaufszeiten der Planeten um die Sonne bestätigt.

Schon die alten Griechen nahmen die Bestimmung dieser Umlaufszeiten (I, § 87) mit einer so großen Genauigkeit vor, daß wir nach so viel tausend neuen, mit den besten Instrumenten angestellten Beobachtungen nichts wesentliches daran zu ändern fanden. Da diese Umlaufszeiten selbst, wie wir bald sehen werden, für alle Zeiten unveränderlich sind, so müssen wir annehmen, daß auch die Länge der Tage, in welchen jene Umlaufszeiten ausgedrückt werden, seit jener bis auf unsere Zeit keine Änderung erlitten hat, weil sich diese sofort in den Revolutionen der Planeten gezeigt haben würde. Wenn unser Tag um eine Sekunde kleiner oder größer wäre als der zur Zeit der Griechen, so würden wir z. B. die Revolution Jupiters, welche die Alten gleich 4332·585 Tage fanden, um ebensoviel Sekunden, also um 4332^s oder um $1^h\ 12^m$ anders finden, während wir doch in unseren neuesten Bestimmungen kaum einige Sekunden von jener Date abweichen.

Man hat geglaubt, daß die Passatwinde, welche zwischen den Wendekreisen beständig von Ost nach West ziehen oder daß das Herabsteigen des Polar-Eises gegen den Äquator und andere Versetzungen großer Massen auf der Oberfläche des Festlandes oder des Meeres, daß Erdbeben, Vulkane u. dgl. die Geschwindigkeit der Rotation der Erde verändern könnten. Allein eine nähere Betrachtung dieses Gegenstandes hat diese Zweifel zerstreut, und man kennt durchaus keine Ursache, welche großen Teilen der Erdmasse so beträchtliche Ortsveränderungen geben könnte, um dadurch die Länge des Tages auf eine uns bemerkbare Weise zu stören.

Dessenungeachtet fehlt es nicht an Ursachen, welche die Länge unseres Tages verändern könnten, wenn auch in so geringem Maße, daß wir selbst mit unseren heutigen Beobachtungsmitteln erst im Laufe von Jahrhunderten diese Veränderung wirklich nachzuweisen im stande wären. Schon Laplace hat auf eine solche Ursache hingewiesen, die Hansen bei seinen Untersuchungen der Mond-

bewegung wieder hervorzuheben sich bestimmt fand. Wir hatten schon öfter Gelegenheit, von dem dünnen elastischen Mittel, dem „Äther", zu sprechen, mit welchem wahrscheinlich der Weltraum erfüllt ist. Dieser Äther nun müßte unter anderem vermöge der Rotation der Himmelskörper eine Reibung an ihren Oberflächen bewirken, die unvermeidlich eine Verzögerung jener Rotation zur Folge hätte. Ebenso geschehen die Bewegungen der Ebbe und Flut in den Meeren wie in den Atmosphären mit Reibung, die notwendig einen Verlust an lebendiger Kraft (II, § 4) bewirkt, der, wie schon Kant (1754) und in unseren Tagen J. R. Mayer und Helmholtz nachwiesen, im Laufe der Zeiten die Achsendrehung der Planeten verlangsamen muß. Diese Verlangsamung schätzt Delaunay, dem wir die eingehendsten Untersuchungen in dieser Richtung verdanken, zwar nur auf 1^s in 10 000 Jahren; sie summiert sich indes dadurch, daß sie stetig erfolgt, im Laufe der Jahrtausende doch zu so merklichen Größen, daß dieselben in den Beobachtungen der Sonnen- und Mondfinsternisse des Altertums sich kundgeben müßten. Diese Erscheinungen sind nämlich gerade für derartige Untersuchungen besonders geeignet, weil da durch das Zusammenfallen von Sonnen- und Mondort eine Genauigkeit in der Bestimmung des letzteren erzielt wird, die wir sonst bei den Beobachtungen der Alten umsonst suchen würden. Geht man so auf etwa 2400 Jahre vor unseren Tagen zurück, für welche Epoche uns Beobachtungen von Sonnenfinsternissen bekannt sind, so beträgt vermöge jener Verlangsamung der Erdrotation der Unterschied in dem Zeitpunkte, zu welchem das Phänomen eintritt, gegen $1^3/_4$ Stunden. Die Folge davon ist, daß z. B. die von Thales im Jahre 585 v. Chr. in Kleinasien total gesehene Finsternis ohne jene Verlangsamung auf der Insel Sardinien hätte total sein müssen.

Wir heben diesen Umstand hier ausdrücklich hervor, weil, wie wir später sehen werden (§ 56), infolge der Veränderlichkeit der Excentricität der Erdbahn die mittlere tägliche Bewegung unseres Satelliten gegenwärtig immer schneller wird. Den Betrag dieser Acceleration der Mondbewegung bestimmte Hansen aus der Diskussion der oben angezogenen und einiger anderer Finsternisse des Altertums in t Jahrhunderten zu $12{\cdot}18'' \, t^2$, während nach den theoretischen Untersuchungen von Adams, Delaunay u. a. bloß die Hälfte dieses Betrages aus der Veränderlichkeit der Excentricität der Erdbahn erklärlich ist. Die andere Hälfte schreibt nun Delaunay der Verlangsamung der Erdrotation durch Ebbe und Flut zu. Daraus sei aber seiner Meinung nach nicht zu schließen, daß die Erde endlich ganz aufhören werde, um ihre Achse zu rotieren; denn jene Verlangsamung rührt nur daher, daß die Erde sich gegenwärtig schneller als der Mond dreht, und die Flutwelle deshalb jetzt immer hinter dem Monde zurückbleibt. Stellen nämlich (siehe weiter unten § 37) in Fig. 101 die Punkte A' und B' die Gegenden der Erde dar, in welchen die durch den Mond T thatsächlich erzeugte Flutwelle eintritt und dreht sich die Erde im Sinne des Pfeiles um ihre Achse, so sucht der Mond stets die beiden Wasseranschwellungen in ihre

normale Position, d. h. in seine Verbindungslinie mit dem Mittelpunkte S der Erde zu stellen. Der Mond zieht also die Anschwellung A' an, welche vermöge der Erdrotation von dem Monde sich zu entfernen strebt, und stößt die Anschwellung B' zurück, die vermöge der Erdrotation sich dem Monde nähern soll. In beiden Fällen entstehen demnach der Erdrotation entgegenwirkende Kräfte und werden dieselbe notwendig verlangsamen. Sobald nun die Erdrotation so sehr verlangsamt sein wird, daß die Flutwelle dem Monde genau zugekehrt ist, wird auch immer dieselbe Seite der Erde gegen den Mond gerichtet sein und alle Verlangsamung der Erdrotation aus dieser Quelle aufhören. Übrigens wird, bemerkt Delaunay weiter, die Abkühlung der Erde (§§ 28, 30) nach den vieltausendjährigen Zeitabschnitten, die hier in Betracht kommen, dann wahrscheinlich so fortgeschritten sein, daß das Meer eine Eismasse bildet, bei welcher von Ebbe und Flut weiter nicht die Rede sein kann.

Aus seinen sehr eingehenden Untersuchungen der Mondbewegung, und aus Beobachtungen des ersten Jupitertrabanten fand Newcomb 1879 es nicht unwahrscheinlich, daß die Achsendrehung der Erde Ungleichheiten von langer Periode und unregelmäßigem Charakter unterworfen sei: indes ist diese Hypothese vorerst noch mit großer Vorsicht aufzunehmen.

§ 28. (Centralfeuer der Erde.) Die Abplattung der Erde, sowie die, welche wir auch an mehreren anderen Planeten bemerken, beweist, daß diese Körper zur Zeit ihrer Entstehung im flüssigen Zustande gewesen sind, da sie sonst, ihrer Rotation ungeachtet, ihre ursprüngliche Kugelgestalt im allgemeinen beibehalten haben müßten. Welches ist aber die Ursache dieses ursprünglichen Zustandes der Planeten, und insbesondere unserer Erde?

In der Antwort auf diese Frage haben sich unsere Geologen von jeher in zwei Klassen geteilt: in Neptunisten und Plutonisten. Die Neptunisten nehmen an, daß zur Zeit der Entstehung der Erde die festen und flüssigen Teile unter einander gemengt gewesen sind, und daß die feste Rinde und überhaupt alle soliden Teile der Erde nur auf dem Wege der Präzipitation, des Niederschlages erhalten wurden. Die Plutonisten hingegen erklären den in der Vorzeit flüssigen Zustand der Erde für eine Folge der hohen Temperatur, welche anfänglich die ganze Erde besessen habe, und welche sich, während die Oberfläche derselben durch Erkalten erstarrte und dadurch in den festen Zustand geriet, in dem wir sie jetzt erblicken, gegen den Mittelpunkt zurückgezogen habe und dort noch herrsche.

Für die letztere Meinung, daß nämlich die Temperatur der Erde in ihrem Mittelpunkte noch eine sehr hohe sei, oder für das sog. Centralfeuer der Erde, scheint der Umstand zu sprechen, daß im Innern der Erde mit zunehmender Tiefe die Temperatur steigt. Diese Thatsache, die in früherer Zeit vielfach bestritten wurde, ist jetzt durch zweckmäßig angestellte Beobachtungen in tiefen Bergwerksschachten, bei Tunneldurchbohrungen u. s. w. längst außer Zweifel gestellt. Zu den besten und am tiefsten in die Erde hinabreichenden Beobachtungen

dieser Art gehören die in dem Bohrloche von Sperenberg bei Berlin erhaltenen; das Resultat derselben lautet:

Tiefe	Temp. C.	Tiefe	Temp. C.
220 m	21·6°	534 m	30·9°
283 =	23·5	597 =	33·1
346 =	26·4	660 =	35·9
409 =	26·9	1064 =	46·5
471 =	29·1		

Nach diesen Beobachtungen ist die Wärmezunahme mit der Tiefe gegen das Erdinnere eine gleichförmige und erfolgt im Verhältnisse von 2·97° oder recht nahe gleich 3° C. für je 100 m. Zu ganz ähnlichen Resultaten führten auch derartige, an anderen Orten angestellte Beobachtungen: nur fand sich das Verhältnis der Temperaturzunahme mit der Tiefe an verschiedenen Orten zum Teile sehr verschieden, also von lokalen Einflüssen sehr abhängig.

Dürfte man annehmen, daß die oben berechnete Temperaturzunahme von 3° C. für je 100 m Tiefe auch in den tieferen Schichten der Erde statthat, so könnte bereits in einer Tiefe von 3 km (etwa 0·4 geogr. Meile) das Wasser nur mehr in Dampfform vorkommen, und schon in einer Tiefe von 40 km müßte eine Hitze (von beiläufig 1200° C.) herrschen, bei welcher alle Gesteine sich in feurig flüssigem Zustande befänden, so daß die Dicke der festen Erdkruste nicht mehr als 40 km (kaum 6 geogr. Meilen) betragen würde. Doch ist dieser Schluß sehr prekär: denn die größte Tiefe, die man im Bohrloche von Sperenberg erreicht hat, beträgt nur 1269 m, oder nur 0·0002 des Erdhalbmessers! Wenn aber auch, wie dies theoretisch wahrscheinlich ist, die Temperaturzunahme in größeren Tiefen langsamer erfolgt als in geringeren, und wenn auch lokale Verhältnisse im Bohrloche von Sperenberg eine raschere, als die mittlere Wärmezunahme mit der Tiefe bedingt haben mögen, so weist doch alles darauf hin, daß im Innern der Erde noch eine ungemein große Hitze herrscht und daß dieses Innere sich noch im feurig flüssigen Zustande befinde. Darauf gestützt haben bekanntlich Perrey, Falb u. a. auch im Innern der Erde Ebbe- und Flutwirkungen angenommen, die mit Vulkanausbrüchen und Erdbeben im Zusammenhange stehen sollen.

§ 29. (Die Temperatur-Änderungen der Erde sind seit der historischen Zeit unmerklich.) Nehmen wir nun mit den Plutonisten an, die Zunahme der Temperatur beim Eindringen in das Erdinnere rühre daher, daß die gesamte Erde zur Zeit ihres Entstehens eine sehr hohe Temperatur hatte, die sich allmählich gegen den Mittelpunkt zurückzog, während die anfangs ebenfalls flüssige Oberfläche durch Abkühlung erhärtete, so muß diese Abkühlung, welche bisher bloß auf die Oberfläche und die ihr zunächst liegenden Teile der Erde gewirkt hat, noch eine andere Wirkung, die sich über die ganze Erde erstreckte, gehabt haben. Die Körper dehnen sich bekanntlich im allgemeinen durch Erwärmung aus und ziehen sich durch

Abkühlung zusammen. Dasselbe mußte also auch mit der Erde geschehen sein. Zu der Zeit ihrer Entstehung, wo sie von einem sehr hohen Grad der Temperatur durchdrungen war, muß sie auch viel größer gewesen sein als jetzt, und sich durch die seit so vielen Jahrtausenden auf ihrer Oberfläche vorgegangene Abkühlung auf einen viel kleineren Raum zurückgezogen haben, als der ist, den sie ursprünglich eingenommen hat.

Diese mit der Zeit an Volum abnehmende kugelförmige Erde dreht sich aber um ihre Achse. Welches immer die Kraft gewesen sein mag, die diese Drehung hervorgebracht hat, ihre Wirkung auf die Rotation der Erde, d. h. die Geschwindigkeit dieser Rotation mußte, nach dem Gesetze der Trägheit, dieselbe bleiben, so lange die Größe, das Volum der Erde, gleich blieb. Aber eben dieses Volum nahm durch die allmähliche Abkühlung der Erde immerwährend ab, was offenbar eine Vermehrung der Geschwindigkeit, eine schnellere Drehung der Erde um ihre Achse zur Folge hatte, ganz ebenso wie ein Rad, mit derselben Kraft angestoßen, sich desto geschwinder dreht, je kleiner dasselbe ist, und umgekehrt. Die Erde muß also, wenn alles Vorhergehende richtig ist, sich jetzt schneller drehen als in der Vorzeit: der Tag muß jetzt kürzer sein, als er ehedem gewesen ist, und wenn wir wissen könnten, wie viel der Tag kürzer geworden ist, so würden wir auch ein Mittel haben, zu messen, wie viel die Erde kleiner, ja selbst wie viel sie kälter geworden ist, als sie vor einer bestimmten Anzahl von Jahrtausenden war.

Nehmen wir nämlich an, daß die mittlere Temperatur der ganzen Erde, nicht bloß die der Oberfläche derselben, seit zwei Jahrtausenden um 1^0 des Celsius'schen Thermometers sich vermindert habe. Nehmen wir noch an, daß die Masse, aus welcher die Erde besteht, sich bei Temperaturerniedrigungen im allgemeinen nur so wenig als das Glas zusammenzieht, d. h. für je 1^0 um seinen hunderttausendsten Teil, so lehrt uns die Mechanik, daß bei einer solchen Verkleinerung der Erdkugel die Geschwindigkeit der Umdrehung derselben um ihre Achse um $^1/_{50000}$ vergrößert, daß also auch der Tag von 86 400^s um $^{86400}/_{50000}$, das heißt, um $1{\cdot}7^s$ verkürzt würde. Allein wir dürfen, wie wir soeben (§ 27) sahen, höchstens eine Änderung des Tages um den hundertsten Teil einer Sekunde annehmen, eine Größe, die 170mal kleiner ist als $1{\cdot}7^s$. Also ist auch die oben angenommene Abkühlung der Erde, 1^0 für 2000 Jahre, 170mal größer, als man sie diesen Schlüssen gemäß voraussetzen darf, oder mit andern Worten: die mittlere Temperatur der Erde kann seit den letzten zwei Jahrtausenden noch kaum um den 170sten Teil von 1^0 C. abgenommen haben. Die Klagen, welche unsere alten Leute, diese laudatores temporis acti, über die Abnahme der Wärme der Erde so gern anstimmen, sind daher ungegründet, so weit nämlich diese Abnahme von der seitdem stattgehabten Abkühlung der ganzen Masse der Erde und von dem Zurückziehen des Centralfeuers gegen den Mittelpunkt der Erde kommen soll.

Aus dieser Untersuchung folgt weiter, daß die Abkühlung der Erde seit 2000 bis 3000 Jahren keine nennenswerten Fortschritte mehr gemacht hat, und daher schon so weit vorgeschritten ist, daß die Wärme, welche die Erde in den Weltraum ausstrahlt, ihr durch die Wärme, die sie von der Sonne erhält, so gut wie vollständig ersetzt wird. In früheren Zeiten war wohl die Meinung weit verbreitet, daß der Beitrag, den das Centralfeuer zu der Temperatur der Oberfläche der Erde liefere, denjenigen, welcher von der unmittelbaren Wirkung der Sonnenstrahlen kommt, im Sommer 30- und im Winter 400mal übertreffe, und man stützte darauf den schönen Roman von der Atlantis und dem berühmten Urvolke, das vor undenklichen Zeiten in den Hochebenen des mittleren Asiens alle Wissenschaften und besonders die Astronomie bis zu einem bisher unerreichten Grad der Vollkommenheit ausgebildet haben sollte. Allein Fourier hat durch eine strenge Rechnung nachgewiesen, daß der Beitrag, den das Centralfeuer der Erde zu der auf der Oberfläche derselben herrschenden Temperatur liefert, gegenwärtig höchstens den 25sten Teil von 1° C. betrage. Die Centralwärme der Erde, so groß sie auch in beträchtlichen Tiefen unter der Oberfläche derselben sein mag, hat sich doch schon so sehr gegen den Mittelpunkt zurückgezogen, daß sie die mittlere Temperatur der Oberfläche kaum mehr auf eine für unsere Instrumente merkbare Art vergrößert.

Die Sonne ist daher bei weitem die vorzüglichste, man kann sagen, die einzige Ursache der Temperatur, welcher sich die Oberfläche der Erde erfreut. Diese Wirkung der Sonne auf die Erde ist aber hart unter der Oberfläche und noch mehr über derselben sowohl täglichen als auch jährlichen Variationen unterworfen, die wir an unseren Tages- und Jahreszeiten erkennen. Diese Variationen nehmen mit der Tiefe ab und sind in unseren Breiten 16 bis 17 m unter der Oberfläche schon nicht mehr bemerkbar, indem dort das ganze Jahr hindurch die mittlere Jahrestemperatur herrscht.

§ 30. (Alter der Erde und der Planeten.) Wenn aber auch, wie wir soeben gesehen, das Centralfeuer keinen merklichen Einfluß mehr auf die Temperatur der Erdoberfläche auszuüben vermag, kann das völlige Verschwinden desselben, welches die Folge der Zeiten heraufführen wird, möglicherweise trotzdem wesentliche Veränderungen unseres Wohnortes herbeiführen. Saemann hat zuerst darauf hingewiesen, daß durch das Zurückweichen der inneren Erdwärme das Wasser der Oberfläche, welches jetzt noch in geringer Tiefe auf Temperaturen stößt, die es in Dampf verwandeln und daher großenteils der Atmosphäre zurückstellen, immer tiefer eindringen und endlich völlig absorbiert werden wird. In gleicher Weise könnte auch die Luft nach und nach von der vertrockneten Oberfläche der Erde aufgesogen und so diese zuletzt in einen Zustand versetzt werden, in welchem wir den Mond wegen seines viel kleineren Volumens und des damit verbundenen weit rascheren Abkühlungsprozesses bereits erblicken. In merkwürdiger Übereinstimmung mit diesen Ideen stehen Hansteen's Ansichten über das Alter der

verschiedenen Planeten. Auf dem Monde nämlich gewahren wir, wie gesagt, keine Spur von Wasser oder Atmosphäre. Jupiter zeigt uns zwei seinem Äquator parallele Wolkenschichten, besitzt somit gewiß Wasser und Luft; ebenso finden wir auf Saturn Spuren von Flüssigkeit und Dünsten. Auf Mars sieht man dunkle Gegenden von unveränderlicher Gestalt, umgeben von glänzenderen Partien, welche die übrige Oberfläche der Kugel bilden und die wir uns als das jenes Festland umfließende Meer denken dürfen. Wahrscheinlich bietet die Erde, vom Mars aus gesehen, einen ganz ähnlichen Anblick. Man könnte sich demnach den Mond als einen todten Himmelskörper, Erde und Mars als im kräftigsten Alter stehend, Jupiter und Saturn in einer noch unentwickelten Kindheit denken, was nach unseren früheren Bemerkungen mit dem relativen Umfange dieser Körper sich ziemlich vertrüge. Übrigens, wenn die Erde bei ihrer Entstehung, wie es sehr wahrscheinlich ist, wirklich in einem Zustande der Inkandescenz, die sich auch auf ihre Oberfläche erstreckte, gewesen ist, welche Reihe von Jahrtausenden mag erforderlich gewesen sein, diese Temperatur bis auf die heutige herabzubringen! Croll schließt aus paläontologischen Erscheinungen, zusammengehalten mit dem wahrscheinlichen Ursprunge der Sonnenwärme (II, § 29), auf ein Alter der Erde von 60—70 Millionen Jahren, seit welchen unser Wohnort nämlich als völlig gesonderter Planet besteht. W. Thomson findet aus dem Verhalten der Temperatur des Erdinnern und der hypothetischen Verlangsamung der Erdrotation durch Ebbe und Flut dafür etwa 100 Millionen Jahre.

§ 31. (Temperatur des Weltraumes.) Von den Wärmestrahlen der Sonne, welche die Erde treffen, gehen die einen durch die Atmosphäre und die Gewässer des Oceans, während andere von diesen Flüssigkeiten absorbiert, und wieder andere von ihnen in den Weltraum zurückgeworfen werden, welcher letzte unermeßliche Raum der Sammelplatz der Wärme ist, die seit dem Anfange aller Dinge von den Himmelskörpern, von der Sonne, den Planeten und Kometen, und von den Fixsternen ausströmte. Nichtsdestoweniger muß die Temperatur desselben eine ziemlich tiefe sein. Nach ihren Untersuchungen schätzten sie Pouillet und Sir John Herschel ziemlich übereinstimmend auf — 146° C., während Fourier sowie Saigey dieselbe zu — 60° und Poison zu — 40° bestimmten: Varianten, die eben nur unsere bisherige Unkenntnis dieser Größe beweisen. Bedenkt man aber, daß dem vorangehenden zufolge bei unserer Erde die ursprüngliche Centralwärme beinahe keinen Einfluß mehr auf die Oberfläche äußert, so wird man schwerlich viel irren, wenn man annimmt, daß die bisher beobachteten tiefsten Wintertemperaturen an den Kältepolen der Erde nicht erheblich höher sein dürften, als die Temperatur des Weltraumes, was auf eine ähnliche Temperatur desselben, wie die von Fourier und Saigey angegebene, führen würde.

§ 32. (Dichte der Himmelskörper.) Wir haben bereits oben (I, § 43) die Mittel erörtert, deren sich die Astronomen bedienen, aus den Entfernungen und scheinbaren Größen der Gestirne die wahre Größe derselben zu finden, und dort an-

gegeben, daß der Halbmesser der Sonne 109mal größer sei, als jener der Erde. Da sich nun die Volumina zweier Kugeln wie die Würfel ihrer Halbmesser verhalten, ist das Volumen der Sonne 1 290 000mal größer als das der Erde.

Kennt man aber sowohl das Volumen als auch die Masse eines Himmelskörpers, so hat es weiter keine Schwierigkeiten mehr, auch das Verhältnis der Dichte desselben zur mittleren Dichte der Erde zu bestimmen. Die Dichte eines jeden Körpers ist nämlich das Verhältnis seiner Maße zu seinem Volumen, indem die Dichte offenbar in demselben Verhältnisse größer wird, in welchem bei demselben Volumen die Masse größer, oder in welchem das Volumen bei derselben Masse kleiner ist. Man darf daher nur die Masse eines Körpers durch sein Volumen dividieren, um seine Dichte zu erhalten.

So fanden wir für unsere Sonne die Masse 323 000, und das Volumen 1 290 000, wenn Masse und Volumen der Erde als Einheit vorausgesetzt wird. Die Dichte der Sonne ist deshalb sehr nahe 0·25 oder $^1/_4$ von der Dichte der Erde.

Das Volumen Saturns ist bei einem Halbmesser von 9·7 Erdhalbmessern das 912fache des Volumens der Erde, die Masse dieses Planeten aber nur die 92fache der Erde; deshalb besitzt er eine Dichte, die nur wenig größer ist, als $^1/_{10}$ der Dichte der Erde.

§ 33. (Dichte der Erde.) Die mittlere Dichte der Erde im Verhältnisse zur Dichte irgend eines anderen auf ihr vorkommenden Stoffes, etwa des Wassers, läßt sich aus dem Gravitationsgesetze allein nicht ableiten. Es verhält sich damit ebenso wie mit den Entfernungen der Planeten von der Sonne. Die Kepler'schen Gesetze ergeben das Verhältnis derselben unter einander; um aber daraus die wirklichen Entfernungen in einem uns geläufigen Maße zu erhalten, bedarf man der Kenntnis einer dieser Entfernungen in demselben Maße, beispielsweise derjenigen der Erde von der Sonne in Kilometern. So ist es auch hier.

Aus den Störungen, welche die Planeten auf einander ausüben, kann man das Verhältnis ihrer Massen gegen einander und gegen die Masse der Sonne ableiten: um aber diese Massen selbst, mit andern Worten das Volumen der einzelnen Planeten zu erfahren, wenn sie ganz aus einem Stoffe von gegebener Dichte, beispielsweise Wasser bestünden, muß man dieses Volumen für einen Planeten kennen.

Die hierzu nötigen Untersuchungen kann man offenbar nur auf der Erde ausführen, und ihre Masse, in diesem Sinne genommen, nur dadurch bestimmen, daß man das Verhältnis der Anziehung eines auf ihr befindlichen Körpers von genau bekannter Masse gegen die Gesamtanziehung der Erde ermittelt. Da aber alle Körper, die uns hierfür zur Verfügung stehen, bloß eine nahezu verschwindende Masse gegen die Masse der Erde besitzen, wird auch deren Anziehung gegenüber jener der Erde eine so geringfügige sein, daß sie erst durch unsere schärfsten Beobachtungsmethoden überhaupt erkannt, und infolgedessen natürlich noch um so schwieriger mit der hier erforderlichen Genauigkeit gemessen werden kann.

Als einfachste Methode zur Bestimmung der Erdmasse oder, was nach dem

eben Gesagten auf dasselbe hinauskommt, ihrer mittleren Dichte, bietet sich dar die Ermittlung der Ablenkung des Bleilotes durch die Anziehung isolierter Berge von regelmäßiger Gestalt und voraussichtlich durchaus gleicher Dichte, deren Volumen und Masse sich infolgedessen mit einem ziemlichen Grade von Genauigkeit berechnen läßt. Den ersten diesbezüglichen Versuch unternahm schon 1737 bis 1740 Bouguer bei der berühmten, von der französischen Akademie veranlaßten Grad-messung in Peru (I, § 7) unter Lebensgefahren an den Abhängen des Chimborazzo, konnte aber kein befriedigendes Resultat erlangen, da es seinen Hilfsmitteln noch an der hierfür erforderlichen Präcision gebrach. Es führten daher erst die zwischen 1774 und 1776 am Mount Schehallien von Maskelyne, Hutton und Playfair angestellten Beobachtungen zum angestrebten Ziele: sie lieferten für die Dichte der Erde 4·71, wobei wie bei allen nun folgenden Angaben die Dichte des Wassers bei $+4^0$ C. als Einheit angenommen ist. Derartige Beobachtungen wurden in in unserem Jahrhunderte zunächst 1855 von James und Clarke am Arthurs Seat bei Edinburgh mit einem Resultate 5·32 für die Dichte der Erde wieder durchgeführt, und neuerdings 1891 und 1892 an dem mächtigen vulkanischen Kegeln Haleakala und Mauna Kea auf den Sandwichs-Inseln von Preston vor-genommen, wobei er im Mittel 5·35 erhielt.

Auf einem ähnlichen Prinzip beruhen die Methoden der Dichtenbestimmung der Erde durch Ermittelung des Unterschiedes der Schwere aus Pendelbeobachtungen an der Erdoberfläche und in tiefen Bergwerken oder auf dem Gipfel hoher Berge. Beobachtungen der ersten Art rühren her: 1854 von Airy im Kohlenschachte Harton bei 400 m Tiefe, und 1883 von R. v. Sterneck im Silberbergwerke zu Przibram bei 517 m und 973 m Tiefe; Beobachtungen der zweiten Art 1821 von Carlini am Mont Cenis und 1880 von Mendenhall am Fujiyama. Für die Dichte der Erde erhielten diese Forscher der Reihe nach: 6·56, 5·77, 4·84 und 5·77.

Gegen die bisher besprochenen Arten der Bestimmung der Erddichte läßt sich das Bedenken erheben, daß, wenn auch nach dem geologischen Charakter der Formation zu urteilen, die Dichte der Berge, an denen die Beobachtungen aus-geführt werden, voraussichtlich durchaus die gleiche sein dürfte, es doch nicht ausgeschlossen ist, daß in ihrem Inneren größere Hohlräume oder Konkretionen von dichteren oder minder dichten Gesteinen vorkommen, welche die Masse derselben erheblich beeinflussen können. Für das Vorhandensein von Störungen dieser oder ähnlicher Natur sprechen auch die großen Unterschiede in der Dichte der Erde, die erhalten wurden. Die Erfindung der Drehwage durch Mitchell, und die Verbesserung derselben durch Cavendish, wodurch es möglich wurde, die Be-stimmung der Erdmasse in die Studierstube zu verlegen, bilden daher einen wesentlichen Fortschritt. Ehe wir jedoch die dadurch erhaltenen Resultate besprechen, müssen wir noch einer originellen Abänderung der obigen Methoden durch Alphonse Berget Erwähnung thun. Er maß 1893 die Verminderung

der Schwerkraft mittelst eines von Mascart erdachten Hydrogen-Gravimeters, welche durch das Ablassen einer Wasserschicht von 1 m Tiefe aus dem 79 Acre haltenden Teiche Habaz la Neuve in Luxemburg bewirkt wurde, bekam dadurch für die Dichte der Erde den Wert 5·41.

Mittelst der Mitchell'schen Drehwage erhielten dafür 1798 Cavendish: 5·48, 1838 Reich im Mittel aus 2 Versuchsreihen 5·52, 1843 Baily: 5·55, 1872 Cornu und Baile 5·56; und 1892 bis 1894 V. Boys: 5·527.

Auch durch direkte Wägungen wurde die Bestimmung der Masse der Erde versucht. Den Reigen dieser Untersuchungen eröffnete 1879 Jolly. Er konstruierte eine Wage, bei der ein Wagebalken vielfach länger war als der andere, und suchte die Zunahme des Gewichtes in dem langen Arme, wenn unter denselben eine schwere Metallmasse geschoben wurde. Als Resultat für die Dichte der Erde erhielt er 5·69. Eine Wiederholung dieses Versuches unternahm 1891 Poynting mit in jeder Richtung wesentlich verbesserten und verfeinerten Apparaten, und fand: 5·493. Diese Methode modifizierte 1885 Wilsing dahin, daß er die Wage durch ein Pendel ersetzte und die Änderung der Schwingungsdauer maß, welche die Annäherung bedeutender Metallmassen hervorrief. Das Mittel seiner Beobachtungen beläuft sich auf 5·58.

Die genauesten bisher vorliegenden Bestimmungen sind zweifellos die von Boys und Poynting, aus welchen die Werte 5·527, und 5·493 gefolgert wurden, und die Sicherheit dieser Werte ist so groß, daß das mit Bevorzugung der Bestimmung von Boys aus ihnen gezogene Mittel: 5·52 kaum um mehr als eine Einheit der letzten Stelle fehlerhaft sein kann. Da die Dichte der verbreitetsten Gesteinsarten auf der Oberfläche der Erde etwa 2·7 ist, ersieht man daraus, daß die Dichte derselben gegen ihren Mittelpunkt hin sich bedeutend vergrößern muß: ein Resultat, das mit den Folgerungen, welche wir aus dem Betrage der Abplattung zogen (§ 25), vollständig übereinstimmt.

Setzt man nach Bessel den Äquatorialradius der Erde 6377·40 km und den Polarradius 6356·08 km, so besitzt der Erdkörper ein Volumen von 1·08285 Billionen kkm. Da nun 1 kkm Wasser ein Gewicht von 1000 kg hat, und die mittlere Dichte der Erde die des Wassers um das 5·52fache übertrifft, beträgt das Gesamtgewicht der Erde 5977 Billionen kg!

Kapitel III.

Ebbe und Flut des Meeres und der Atmosphäre der Erde.

§ 34. (Erscheinungen der Ebbe und Flut im allgemeinen.) Obschon das die Erde bedeckende Meer schon seit Jahrtausenden mit ihr und mit sich selbst im Gleichgewichte schwebt und die Gestade nicht mehr verläßt, die es in der Vorzeit so oft

durchbrochen hat, um das Festland mit seinen Fluten zu bedecken, so sieht man doch seine gewaltigen Wassermassen zweimal in jedem Tage in regelmäßiger Oscillation sich auf und nieder bewegen. Sechs Stunden sind sie im Steigen begriffen; sie überschwemmen die flachen Gestade, suchen die steilen Küsten zu erstürmen und dringen in die Mündungen der Flüsse ein, um sie meilenweit vor ihren Ufern anzuschwellen. Dies ist die Zeit der Flut. Wenn das Wasser seine größte Höhe erreicht hat, verweilt es daselbst als Hochmeer. Bald darauf sinkt es ebenso regelmäßig wieder herab, die Zeit der Ebbe, die ebenfalls nahe sechs Stunden dauert, bis das Meer seine größte Tiefe erreicht hat, wo es einige Zeit verweilt, um dann wieder zu steigen und in derselben Ordnung ähnliche Veränderungen regelmäßig zu durchlaufen.

Diese Bewegungen des Weltmeeres werden allerdings durch die Wirkung der Winde vermehrt, aber sie entspringen nicht aus ihnen, da man die Ebbe und Flut auch bei dem stillsten Wetter und dem reinsten Himmel immer in derselben Ordnung abwechseln sieht. Diese Ordnung ist so groß, daß man die verschiedenen Momente jener Erscheinungen für verschiedene Orte selbst auf Jahre mit derselben Sicherheit voraussagen kann, mit welcher die Astronomen die Finsternisse der Sonne und des Mondes bestimmen.

§ 35. (Ursachen der Ebbe und Flut.) Die Regelmäßigkeit des Phänomens setzt eine ebenso regelmäßige und dauernde Ursache voraus, welche jene Wirkungen hervorbringt. Um diese Ursache zu entdecken, muß man die Erscheinungen selbst durch eine längere Zeit aufmerksam beobachten und vor allem die Perioden bestimmen, in welchen ihre einzelnen Phasen wiederkehren. Man fand auf diese Art, daß diese Perioden mit dem synodischen Mondmonat (II, § 100) das heißt, mit der Zeit des Neu- und Vollmondes in auffallendem Zusammenhange stehen, und daß sie besonders von den Stellungen des Mondes gegen die Erde abhängen. Zwar sind diese Perioden nicht immer gleich unter einander; aber wenn man aus mehreren auf einander folgenden das Mittel nimmt, so erhält man für die Dauer derselben $24^h\ 50^m$, in welchem Zeitraum immer zwei Ebben und ebensoviele Fluten sich ereignen. Dies ist aber genau die Zeit, in welcher der Mond, für jeden Beobachter auf der Erde, vermöge der mittleren Bewegung dieses Satelliten wieder zu seinem Meridian zurückkommt, eine Zeit, die man Mondtag nennen kann, sowie man die Zeit von 24 Stunden zwischen zwei nächsten Kulminationen der Sonne einen Sonnentag zu nennen pflegt (I, § 94).

Wenn also für irgend einen Hafen heute das Hochmeer genau auf den Mittag dieses Ortes fällt oder um 12^h statthat, so wird es am ersten folgenden Tag um $12^h\ 50^m$ abends, am zweiten um $1^h\ 40^m$, am dritten um $2^h\ 30^m$ eintreten, so daß es täglich um 50^m später kommt, und zwischen je zwei solchen Abendfluten wird immer auch eine Morgenflut in der Mitte liegen, von welcher die erste um $12^h\ 25^m$ morgens, die am erstfolgenden Tag um $1^h\ 15^m$, am zweiten um $2^h\ 5^m$, am dritten um $2^h\ 55^m$ morgens eintritt u. s. w. Zwar

sind diese Intervalle, wie schon gesagt, zuweilen einige Minuten größer oder kleiner, aber eben diese Ungleichheiten sind nur wieder ein neuer Beweis, daß die ganze Erscheinung von dem Monde kommt, da auch die Länge des Mondtages wegen der verschiedenen Geschwindigkeit, mit welcher der Mond seine elliptische Bahn durchläuft, um einige Minuten variiert, und da man, wenn man die Unregelmäßigkeiten beider Phänomene aufmerksam betrachtet, in diesen zwischen beiden eine sehr genaue Übereinstimmung findet.

Doch ist der Mond zwar die wichtigste, aber keineswegs die einzige Ursache dieser Erscheinungen. Man darf sie in der That nur durch einige Monate beobachtet haben, um zu bemerken, daß die Fluten, welche zur Zeit des Neu- oder Vollmondes eintreten, durchaus viel größer und die der Quadraturen im Gegenteile beträchtlich kleiner sind als die mittleren Fluten. Wenn man diese Beobachtungen noch weiter fortsetzt, so findet man, daß die Flut und ebenso die Ebbe immer größer wird, wenn der Mond oder die Sonne der Erde näher kommt, und daß selbst die Deklinationen dieser beiden Gestirne noch einen Einfluß auf diese Erscheinungen äußern, wobei jedoch der des Mondes immer als der überwiegende erkannt wird.

§ 36. (Lokalverhältnisse, welche die Ebbe und Flut modifizieren; Hafenetablissement.) Alles Vorhergehende gilt in seiner ganzen Strenge nur von großen, freien Meeren, von dem eigentlichen Weltmeere. In kleineren Meeren, wie im Mittelländischen und im Kaspischen Meere, und überhaupt nahe am Ufer oder in engen Häfen werden die Gewässer in ihrem regelmäßigen Laufe aufgehalten und gestört, und die Größe, ja selbst der Moment des Hochmeeres, wird dadurch so bedeutend modifiziert, daß die Zeiten seines Eintrittes, oft selbst schon für zwei benachbarte Häfen, sehr verschieden ausfallen, obschon sie für einen und denselben ebenso konstant sind wie auf der hohen See. In Dünkirchen z. B. tritt das Hochmeer erst 12 Stunden nach der Kulmination des Mondes ein, und in St. Malo (Breite 48° 39′) 6 Stunden später, während am Kap der guten Hoffnung die Flut schon $1^1/_2$ Stunde nach der Kulmination des Mondes ihre größte Höhe erreicht.

Man pflegt die Zeit seit der Kulmination des Mondes, wo das Hochmeer am Tage des Neumondes für jeden Hafen eintritt, das *Hafenetablissement* zu nennen, und man geht von diesem Augenblicke aus, um alle folgenden Momente des Hochmeeres für diesen Monat durch Rechnung zu bestimmen. Dieses Hafenetablissement beträgt in

Amsterdam . .	3 St. 0 Min.	Calais	11 St. 45 Min.
Antwerpen . .	4 = 25 =	Cherbourg . .	7 = 45 =
Berg-op-Zoom .	3 = 0 =	Dieppe	10 = 30 =
Brest	3 = 45 =	Dublin . . .	9 = 45 =
Bristol . . .	6 = 45 =	Dünkirchen . .	11 = 45 =
Boulogne . .	10 = 40 =	Vlissingen . . .	1 = 0 =
Cadix	1 = 15 =	Gröningen . . .	11 = 15 =

Hamburg . . .	5 St. 0 Min.	St. Malo . . .	6 St. 0 Min.
Lissabon . . .	4 = 0 =	Ostende . . .	0 = 20 =
Liverpool . . .	11 = 0 =	Plymouth . . .	6 = 5 =
London. . . .	2 = 45 =	Portsmouth . .	11 = 40 =

Es ist sehr wichtig, diese Angaben, sowie auch die Höhen der Fluten für viele Orte mit großer Genauigkeit zu haben, da von ihnen die Berechnung der künftigen Fluten abhängt, deren Kenntnis für den Schiffer und die Bewohner der Meeresufer so nützlich, ja notwendig ist, um Unfälle zu vermeiden.

Man nennt Totalflut die halbe Summe zweier nächsten Hochmeere über dem Niveau der zwischen ihnen liegenden tiefsten Ebbe. Beträgt z. B. die Höhe der ersten Flut 4·4 m über dem Niveau der nächstfolgenden Ebbe, und die der zweiten Flut 3·6 m, so ist die Totalflut 4 m. Diese Totalflut beträgt im Mittel aus sehr vielen Beobachtungen für Brest 3·21, für Cherbourg 2·70, für St. Malo 5·98, für Dieppe 2·87 m u. s. w. In den französischen Häfen ereignen sich die größten Fluten immer ein und einen halben Tag nach dem Neu- und nach dem Vollmonde, und diese größten Fluten sind es, deren Kenntnis besonders interessant ist.

Laplace hat in seiner Méc céleste, einen einfachen Ausdruck gegeben, durch welchen man die Höhe der Flut für alle Neu- und Vollmondstage eines Jahres berechnen kann. Die Resultate dieser Berechnung werden von der Sternwarte in Paris jährlich bekannt gemacht. So hatte man z. B. für Brest und das Jahr 1834:

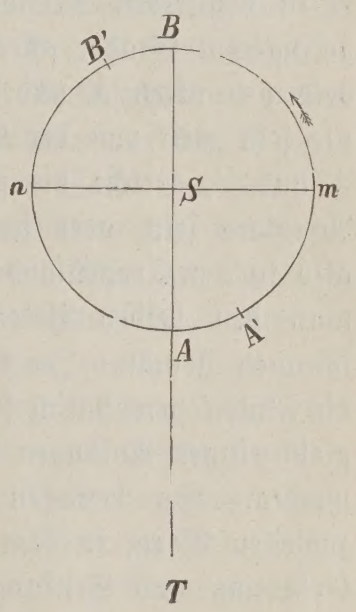
	Fluthöhe
10. März Neumond um 11^h morgens . . .	0·84 m,
25. = Vollmond = 6^h = . . .	1·13 m.

Um nun zu wissen, welches die größte Fluthöhe für Brest im Monat März des Jahres 1834 sein wird, multipliziert man die größere der beiden vorhergehenden Zahlen, nämlich 1·13, durch die Totalflut von Brest, d. h. durch 3·21, wodurch man für die gesuchte größte Flut 3·63 m erhält, und da diese anderthalb Tage nach dem Vollmonde statthaben soll, so fällt sie auf den 26. März um 6^h abends. Für St. Malo findet man an demselben Tage die größte Flut dieses Monats 6·76 m oder 20·8 Par. Fuß.

§ 37. (Erklärung dieser Erscheinungen.) Es wurde schon bemerkt, daß diese Erscheinungen eine bloße Folge der Anziehung der Sonne und besonders des Mondes auf unsere Meere sind. Sei, um dies klar zu machen T (Fig. 101) der Mittelpunkt des Mondes und S der Mittelpunkt der Erde AnBm, also A der nächste und B der von dem Monde weiteste Punkt der Oberfläche der Erde, wo einerseits der Beobachter A den Mond in seinem Zenith andererseits B in seinem Nadir (Einl., § 6) hat. Da die Anziehung des Mondes, wie die aller Körper, sich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung verhält, so ist seine Anziehung für den Punkt A der Erde die größte und für den Punkt B die kleinste von allen, während sie für die beiden zwischen A und B liegenden Punkte m und n nahe

ebenso groß als für den Mittelpunkt S der Erde, also nahe gleich der mittleren Anziehung des Mondes ist. Da somit der Punkt A stärker als der Mittelpunkt S der Erde von dem Monde angezogen wird, so wird er sich dem Monde T zu nähern oder von dem Punkte B zu entfernen suchen; der Punkt A und also auch das ihn zunächst umgebende Wasser wird daher steigen. Da aber ebenso der Mittelpunkt S von dem Monde T mehr als der entfernteste Punkt B angezogen wird, so wird sich auch der Punkt S dem Monde mehr nähern als der Punkt B, oder mit andern Worten, der Punkt B und also auch das ihn umgebende Wasser wird hinter dem Mittelpunkte S der Erde zurückbleiben, sich von ihm entfernen und daher ebenfalls steigen. Dasselbe wird, obschon in geringerem Grade, für alle die Punkte der Erde gelten, die mit den beiden Punkten A und B in einerlei Meridian liegen, oder für die der Mond zu derselben Zeit kulminiert. Die übrigen Punkte der Erde aber werden sich desto weniger von dem Mittelpunkte derselben entfernen, desto weniger steigen, je weiter sie von jenem Meridian entfernt sind. Die Punkte m und n, die den Mond in oder nahe bei ihrem Horizonte sehen, werden nur mit der mittleren Kraft des Mondes, mit derselben Kraft wie der Mittelpunkt S angezogen und bleiben daher ungestört, oder vielmehr die diese beiden Punkte umgebenden Gewässer müssen an Höhe eben nur abnehmen, weil ein großer Teil derselben dazu verwendet worden ist, die Gewässer bei A und B zu erhöhen.

Fig. 101.



Man sieht daraus schon ohne alle Rechnung, daß zwischen je zwei nächsten Kulminationen des Mondes auch eine doppelte Ebbe und Flut statthaben und daß die Flut für jeden Ort der Erde in die Zeit seiner oberen oder unteren Kulmination (Einl., § 17), die Ebbe aber nahe 6 Stunden vor und nach derselben fallen muß.

Was soeben von dem Monde gesagt worden ist, gilt auch von der Sonne, nur wegen ihrer großen Entfernung in viel geringerem Maße, da es sich hiebei um den Unterschied der Anziehungskräfte auf die Oberfläche und den Mittelpunkt der Erde handelt, dieser Unterschied aber bei dem Monde trotz der Kleinheit seiner Masse wegen seiner so bedeutenden Nähe mehr als doppelt so groß ist als bei der Sonne. Die Sonnenfluten werden für jeden Ort in dem Augenblick seines Mittags und seiner Mitternacht fallen, und da jeden Monat zweimal die Kulmination des Mondes in dieselbe Zeit fällt, nämlich zur Zeit der Neu- und Vollmonde, so werden die Wirkungen der Sonne und des Mondes hier zusammenwirken und die Fluthöhe vergrößern (Springfluten), während im Gegenteil zur Zeit der Quadraturen, wo der Mond in der Linie BST und die Sonne in der verlängerten Linie mSn liegt, die Fluthöhe des Mondes durch die der Sonne

vermindert (Nippfluten) wird. Aus derselben Ursache wird die Flut des Mondes sowohl als auch die der Sonne desto stärker sein, je näher diese Gestirne bei der Erde stehen, was alles mit den Beobachtungen ganz genau übereinstimmt. Daß das Hochmeer an jedem Orte nicht auf den Augenblick der Kulmination selbst trifft, sondern oft erst mehrere Stunden später statthat, kommt daher, daß die Trägheit des Wassers, die Reibung seiner Teile, die Unebenheiten des Meeresbodens u. dgl. der Bewegung desselben zahlreiche Hindernisse entgegensetzen. Ähnlich fällt ja bekanntlich auch die größte Hitze des Tages nicht auf den Mittag, sondern etwa 2 Stunden später, sowie die höchste Temperatur des Jahres nicht auf den Augenblick des Sommersolstitiums, wo die Sonne am höchsten steht, sondern mehr als einen Monat später, weil die Anhäufung der Wärme nach dem höchsten Stande der Sonne noch durch einige Zeit fortschreitet.

Es wurde bereits gesagt, daß alle die Orte, welche mit den Punkten A und B in demselben Meridian liegen, zu gleicher Zeit ihre Fluten haben, aber in geringerem Grade, offenbar in einem um so geringeren, je weiter sie von den beiden Punkten A und B entfernt sind. Da aber die Sonne und der Mond sich nie sehr weit von der Ebene des Äquators entfernen, so werden auch diese Orte A und B, welche die größten Fluten haben, immer in der Nähe des irdischen Äquators sein, oder sie werden in die heiße Zone fallen. Die Fluten werden also in den Tropenländern am größten sein und immer kleiner werden, je näher man den beiden Polen der Erde kommt. Auch dies ist der Erfahrung vollkommen gemäß. In Ostindien und an den tropischen Küsten Amerikas steigen die Fluten gewöhnlich sehr hoch, obschon sie auch, durch Lokalursachen, z. B. durch gleichzeitiges Anlangen verschiedener Flutwellen, an andern Orten oft sehr erhöht werden. So betragen die Niveaudifferenzen im Hintergrunde der Fundy-Bay zuweilen 30 m, in dem Hafen von St. Malo oft 15 m. In der Ostsee ist die Erhebung und Senkung des Meeres hingegen kaum merklich, so wenig als in kleineren oder ringsum eingeschlossenen Meeren, wie in dem Schwarzen oder dem Kaspischen Meer.

§ 38. (Bestimmung der Mondmasse; Geschichte der Theorie der Ebbe und Flut.) Wenn man den Einfluß, welchen der Mond auf die Flut hat, von jenem der Sonne geschickt sondert, so geben diese Erscheinungen ein gutes Mittel, die Masse des Mondes zu bestimmen. Man hat auf diesem Wege gefunden, daß die Masse dieses Satelliten nahe den 75sten Teil der Masse der Erde beträgt, ziemlich übereinstimmend mit andern Bestimmungen.

Die Theorie dieser Erscheinungen, in ihrer ganzen Vollständigkeit aufgefaßt, ist übrigens eine der schwersten, mit welchen sich unsere Geometer bisher beschäftigt haben, wie schon aus den vielen vergeblichen Versuchen folgt, diesen Zweck zu erreichen. Bereits Kepler wollte eine solche Theorie liefern; aber erst Newton betrachtete den Gegenstand aus dem wahren Gesichtspunkte und gab seine Theorie im Jahre 1687. Allein so richtig auch seine Ideen waren, so be-

durften sie doch noch einer großen Entwicklung und Ausbildung, um den Erscheinungen der Natur vollkommen zu genügen. Im Jahre 1738 machte die Akademie der Wissenschaften zu Paris dieses Problem zum Gegenstande einer Preisfrage, die vier gekrönte Memoiren zur Folge hatte. Die drei ersten waren von Daniel Bernoulli, Leonhard Euler und Maclaurin, welche alle mit sehr viel Scharfsinn die von Newton schon früher eingeschlagene Bahn verfolgten; die vierte aber stammte von dem bekannten Jesuiten Cavalleri, der die gegebene Frage durch die Anwendung der Cartesischen Wirbel zu erklären suchte, eine Theorie, an welcher die Pariser Akademie noch viele Jahre festhielt, nachdem bereits Newton sein System der allgemeinen Schwere aufgestellt hatte. Die gegenwärtige hohe Ausbildung dieses Gegenstandes verdanken wir vorzüglich Laplace, der tiefe Untersuchungen darüber in seiner Méc. céleste mitgeteilt hat.

§ 39. (Ebbe und Flut der Atmosphäre.) Da die Wirkung der Sonne und des Mondes auf unsere Meere so bedeutend ist, so wird sie wahrscheinlich auf das unsere Erde rings umgebende Luftmeer wegen der großen Beweglichkeit desselben noch viel beträchtlicher sein. An der obersten Grenze der Atmosphäre sind diese Wirkungen ohne Zweifel auch sehr groß. Aber wir bewohnen nur den Grund dieses Meeres und sind in dieser Beziehung in demselben Falle mit den Bewohnern der Tiefe des Oceans, die von den großen Veränderungen, welche an seiner Oberfläche vorgehen, wohl kaum etwas fühlen können. Man hat allerdings durch fortgesetzte Beobachtungen an guten Instrumenten eine tägliche Periode in den Barometerschwankungen erkannt. Diesen Beobachtungen zufolge liegt z. B. in unseren Gegenden die größte Höhe des Barometerstandes zwischen 9 und 10^h morgens; hierauf nimmt sie bis um 4^h abends ab, wo sie am kleinsten ist. Von da steigt sie wieder, bis sie um 11^h abends zum zweiten Male eine größte Höhe erreicht und dann wieder fällt, bis sie um 4^h morgens zu ihrer zweiten größten Tiefe sinkt. Aus diesen Epochen sieht man aber schon, daß diese Änderungen des Barometerstandes sich nicht nach dem Laufe des Mondes, sondern vielmehr nach dem der Sonne richten; sie sind daher nur eine Wirkung der Temperaturerhöhung, die durch die Sonne in unserer Atmosphäre erzeugt wird.

Kapitel IV.

Störungen der Planeten überhaupt.

§ 40. (Schwierigkeit der Bestimmung der Störungen.) Wenn bloß die Erde nebst der Sonne in unserem Planetensysteme existierte, so würde es leicht sein, ihre Bahn nach allen Beziehungen auf das genaueste zu bestimmen. Diese würde nämlich nach dem Vorhergehenden eine Ellipse sein, und schon wenige gute

Beobachtungen würden hinreichen, die Lage, Größe und Gestalt dieser Ellipse kennen zu lernen.

Allein nebst der Erde bewegen sich noch mehrere Planeten und zahlreiche Kometen um die Sonne, und da diese Körper, wie alle, die Eigenschaft haben, jeden andern Körper anzuziehen, so wird dadurch die Ellipse, welche jeder dieser Körper, wenn er allein da wäre, um die Sonne beschreiben würde, auf das mannigfaltigste abgeändert. Während z. B. Jupiter durch die Kraft der Sonne in seiner großen elliptischen Bahn um dieses Gestirn geführt wird, suchen ihn auch alle übrigen, besonders die ihm näher stehenden Planeten, Saturn und Mars, durch ähnliche Kräfte immerwährend aus dieser Bahn herauszuziehen. Nach der verschiedenen Stellung und Entfernung der ihn umgebenden Planeten wird er von denselben bald zur Sonne hin-, bald von ihr weggezogen; dieser bewegt ihn auf seinem Wege vor-, jener rückwärts; dieser erhebt ihn über, jener zieht ihn unter seine ursprüngliche Bahn. Auf diese Weise ist dieser Planet, und dasselbe gilt auch von allen übrigen Himmelskörpern der Art, weit entfernt, eine reine Ellipse um die Sonne zu beschreiben; seine Bahn ist vielmehr eine äußerst zusammengesetzte, eine jeden Augenblick sich ändernde krumme Linie.

Aus diesem Gesichtspunkte betrachtet, scheint die genaue Bestimmung des Ortes eines Planeten oder Kometen und überhaupt die ganze Astronomie alle menschlichen Kräfte weit zu übersteigen. In der That, wenn man bedenkt, wie viele Jahrtausende erfordert wurden, bis der menschliche Geist nur die größte und auffallendste und ihm zunächst liegende von allen diesen Erscheinungen, die doppelte Bewegung seiner Erde, erkennen lernte, so muß man an der vollständigen Auflösung dieses höchst verwickelten Problems beinahe verzagen. Dieses Problem besteht nämlich, um es kurz zu sagen, im Folgenden: Wenn die Geschwindigkeiten und die Richtungen der Bewegung von hundert und mehr Himmelskörpern gegeben sind, deren jeder alle anderen anzieht und von allen anderen angezogen wird, so soll man durch Rechnung den Ort und die Geschwindigkeit eines jeden dieser Körper für jeden Augenblick irgend eines verflossenen oder noch kommenden Jahrhunderts bestimmen. Die Stellungen dieser Körper unter einander ändern sich immerwährend, und mit jeder neuen Stellung wird auch eine neue Wirkung derselben auf einander erzeugt: es war daher ein kühnes, ein beinahe verwegenes Unternehmen des menschlichen Geistes, sich an die Auflösung einer solchen Aufgabe zu machen.

Und doch hat man es gewagt und glücklich gewagt. Wohl können wir unsere Leser nicht tiefer in das Labyrinth der mathematischen Berechnungen einführen, durch welche es möglich geworden, eine der größten und höchsten Aufgaben aufzulösen, die sich der menschliche Geist wohl je gestellt: indes wollen wir doch versuchen, einen allgemeinen Überblick über dieselben zu geben, und dazu vorerst einige Umstände hervorheben, welche die Arbeit wesentlich erleichterten.

§ 41. (Erleichterungen. I. Große Entfernung der Gestirne von uns.) Zuerst wollen wir

bemerken, daß die ungemeine Präzision, mit welcher die Astronomen die Lage der Gestirne angeben, nur relativ ist, und daß diese Angaben uns in den meisten Fällen sehr ungenau erscheinen würden, wenn wir sie mit dem Maßstabe in der Hand an Ort und Stelle nachmessen könnten. Die Astronomen können z. B. den Ort eines Planeten auf Jahrhunderte voraus bis auf die Genauigkeit der Dicke eines Spinnfadens am Himmel bestimmen. Das scheint allerdings eine sehr große und ist auch in der That, wenn man die dabei zu überwindenden Schwierigkeiten bedenkt, eine bewunderungswürdige Genauigkeit. Aber dieser Spinnfaden, vor unser Auge gehalten, bis er am reinsten erscheint, wie viel bedeckt er wohl an der Sphäre des Himmels? Ein ziemlich feiner etwa 10″. Und diese 10″, wie viel betragen sie z. B. von dem Umkreise auch nur der Uranusbahn? Beiläufig 130 000 km oder mehr als zehnmal den Durchmesser unserer ganzen Erde. Bei dem uns nächsten Fixstern, α Centaur, der etwa (II, § 176) 41 Billionen km von uns absteht, würden diese 10″ nahezu 2000 Millionen km betragen. Solche Dinge nennen die Astronomen eine Kleinigkeit und gewissermaßen mit Recht, denn ein Fehler von 10″ in der Peripherie eines Kreises beträgt doch erst den 129 000sten Teil des Ganzen. Wie wenige Dinge giebt es aber, selbst unter denen, die uns hier unten zunächst umgeben, deren Durchmesser oder deren Umfang wir bis auf den hunderttausendsten Teil des Ganzen kennen? Dessenungeachtet bleibt es wahr, daß diese Größen an sich selbst sehr bedeutend sind, so gering sie uns auch in jenen großen Entfernungen erscheinen. Und wohl uns, daß sie uns so erscheinen! Denn wenn wir dieses Gewirre von zahllosen Himmelskörpern ganz nahe vor unseren Augen hätten, und wenn wir jede kleine Abweichung der so wunderbar unter einander verschlungenen Bewegungen sehen könnten, so würde es wahrscheinlich keinem von uns auch nur einfallen, die Gesetze aufzusuchen, nach welchen alle diese Erscheinungen vor sich gehen. Dort oben aber, in jenen ungemessenen Räumen, zeigen sich die Veränderungen, welche mit den Himmelskörpern vorgehen, für uns selbst mit den stärksten Fernrohren nur in ihren großen, gleichsam in ihren rohen Zügen, daher es uns noch möglich wird, die Hauptmomente derselben rein aufzufassen, ohne uns von dem Detail dieser Erscheinungen beirren oder übertäuben zu lassen. Es läßt sich eben gar vieles nur gut erkennen, wenn es aus einer gewissen Ferne gesehen wird, und das Detail versteckt nur zu oft die großen Züge des Ganzen. Wenn man z. B. mehreren Personen ein großes Freskogemälde vorlegte und sie dasselbe nur teilweise durch ein starkes Mikroskop besähen, so würde jeder eine andere Idee davon erhalten, und der eine würde es für ein Haus, der zweite für einen Baum und ein anderer wohl gar für ein Porträt ansehen. Die Bewohner des Mondes, die 384 000 km von uns entfernt sind und eben dadurch die ganze Erde im Großen übersehen, kannten gewiß Amerika und Neuholland lange vorher, ehe von uns diese Weltteile entdeckt wurden, und daß die Erde sich täglich um sich selbst dreht, werden

sie lange vorher, ehe Copernicus es finden konnte, schon auf den ersten Blick gesehen haben.

Allein dies ist nicht die einzige Ursache, durch welche uns die Auflösung jenes großen Problems möglich geworden ist. Es giebt vielmehr noch mehrere besondere Eigentümlichkeiten unseres Sonnensystems, die uns jene Auflösung ungemein erleichtern.

§ 42. (II. Große Masse der Sonne gegen die der Planeten.) Alle die Ungleichheiten der Bewegung, welche durch die Anziehung der Planeten unter sich entstehen, sind nämlich doch immer nur sehr klein gegen die eigentlich elliptische Bewegung derselben, welche letzte bloß von der Anziehung der Sonne kommt, und von welcher jene ersten nur gleichsam als geringe Unregelmäßigkeiten zu betrachten sind, die man daher auch Störungen oder Perturbationen zu nennen pflegt. Wir haben oben (§ 21) gesehen, daß alle himmlischen Körper sich im geraden Verhältnisse ihrer Masse und im verkehrten des Quadrates ihrer Entfernung anziehen. Wenn nun z. B. Jupiter zu einer Zeit von der Sonne ebensoweit als von Saturn entfernt ist, so würde er, wenn die Masse Saturns ebenso groß wäre als die der Sonne, von diesen beiden Körpern gleich stark angezogen werden, und die Folge davon würde ein sehr große Störung, eine totale Umänderung seiner Bewegung und seiner Bahn selbst sein. Allein die Masse Saturns ist noch nicht einmal der 3000ste Teil von jener der Sonne, und in eben diesem Verhältnisse steht also auch die Anziehung, welche er und die Sonne auf Jupiter ausüben, wenn beide gleich weit von diesem Planeten entfernt sind; ja selbst die Massen aller Planeten unseres Systems zusammengenommen betragen noch nicht den 800sten Teil der Sonnenmasse, und sie könnten daher, auch wenn sie alle in einem einzigen Punkte vereinigt wären, die Hauptwirkung, welche jeder derselben von der Sonne erfährt, nur unbedeutend abändern. Durch diese Einrichtung hat unser Planetenstaat eine streng monarchische Gestalt erhalten, in welcher die Kraft des Regenten über die eines jeden, auch des mächtigsten Unterthans weit vorherrscht, und in welcher jede Unordnung, jeder kleine Ungehorsam sofort wieder unter die Herrschaft des großen Gesetzes zurückgebracht wird, das unmittelbar von dem Monarchen selbst ausgeht, der die legislative und exekutive Gewalt in sich vereinigt: und mit Fug und Recht, weil er an Masse, die dort die Stelle der Geisteskraft vertritt, die Kraft aller seiner Unterthanen über 800mal übertrifft. Diese Einrichtung unseres Planetensystems scheint ein charakteristisches Kennzeichen, nicht bloß im Ganzen, sondern auch in den einzelnen Teilen desselben zu sein, indem auch die mächtigsten Vasallen denselben Gehorsam gegen ihren gemeinschaftlichen Herrscher äußern, den sie mit derselben Strenge von ihren Untergebenen fordern. Und mit demselben Rechte, kann man hinzusetzen, da auch sie wieder an innerer Kraft ihre Unterthanen oft ebenso weit übertreffen, als sie selbst alle zusammen von dem Autokraten des ganzen großen Reiches übertroffen werden. Unsere Erde bildet mit ihrem Monde einen solchen kleinen Staat im

Staate, sie führt ihn auf ihrer weiten Reise um die Sonne als ihren Diener in schweigendem Gehorsam mit sich, aber ihre Masse übertrifft auch die ihres Begleiters nahe 80mal. Jupiter wird auf seiner noch viel größeren Bahn von 5 solchen Dienern begleitet, die aber alle zusammen noch nicht den 10 000sten Teil der Masse ihres Herrn besitzen, und ähnlich verhalten sich Uranus und Saturn zu ihren Satelliten. Auf diese Weise werden also die Monde gezwungen, die Oberherrschaft ihrer Hauptplaneten, und diese wieder die alles überwiegende Macht der Sonne anzuerkennen.

§ 43. (III. Kleine Excentricitäten und Neigungen der Planetenbahnen.) Aber dieser günstige Umstand würde doch noch nicht hinreichen, die hierher gehörenden Rechnungen ausführbar zu machen, wenn sich nicht noch andere Verhältnisse zu demselben Zwecke vereinigten. Wenn z. B. die Bahn Jupiters, des größten aller Planeten, eine Excentricität gleich der Hälfte ihrer großen Halbachse hätte, so würde er den benachbarten Planeten zuweilen so nahe kommen, und diese würden durch ihn so große Störungen erleiden, daß sie am Ende eine Umänderung unseres ganzen Sonnensystems hervorbringen könnten. Allein die Jupiterbahn ist weit entfernt, eine für das Ganze so verderbliche Gestalt zu haben, da ihre Excentricität noch nicht der 500ste Teil ihrer Halbachse ist. Selbst die Merkurbahn, die unter den Bahnen der älteren Planeten am meisten abgeplattet ist, hat eine Excentricität, die nur den fünften Teil ihrer Halbachse beträgt, und nahe dasselbe bemerkt man auch bei den Asteroiden. Diese Planeten sind überdies alle sehr klein, und Merkur ist noch der Sonne so nahe, daß sich von ihm keine bedeutenden Störungen befürchten lassen.

Ebenso ist es mit den Neigungen der Bahnen gegen die Ekliptik. Wenn alle diese Bahnen genau in der Ekliptik lägen, so würden sie unter sich selbst die Lagen dieser Bahnen offenbar gar nicht verrücken. Dieser Fall findet zwar in unserem Planetensystem nicht statt, allein alle älteren Planetenbahnen schließen höchstens einen Winkel von 3° unter einander ein; es bleiben deshalb auch die Störungen klein. Nur Merkur und die Asteroiden bilden wieder eine Ausnahme, von welchen der erste eine Neigung von 7° und Pallas sogar eine von 35° hat, was aber aus den bereits angegebenen Ursachen keinen bedeutenden Einfluß auf die übrigen Planeten äußern kann.

§ 44. (IV. Große Entfernungen der Planeten unter einander.) Endlich sind auch die Räume, welche die größeren Planeten von einander trennen, so ungemein groß gegen diese Körper selbst, daß die Anziehung, welche sie gegen einander ausüben, schon aus diesem Grunde allein nicht anders als sehr gering sein kann.

Die so weit präponderierende Masse der Sonne, die kleinen Excentricitäten und Neigungen der Planetenbahnen, und die großen Distanzen, in welchen diese Körper sich bewegen, alle diese Umstände sind also eben so viele Ursachen, warum die Störungen, welche die Planeten von einander leiden, an sich selbst immer nur sehr gering sind und uns überdies wegen der großen Entfernungen der

Planeten von uns noch geringer erscheinen. Durch diese günstigen Verhältnisse ist es uns möglich geworden, die Auflösung des großen Problems der Bestimmung der Störungen zu finden, jedoch, wie man schon aus diesen Hilfsmitteln selbst sieht, nicht die strenge, allgemeine, sondern nur eine genäherte Auflösung desselben, aber doch auch wieder eine so weit genäherte, als es nur immer gefordert werden kann. Da es nämlich, auch selbst unter diesen günstigen Verhältnissen, noch immer unmöglich wäre, die wahren Werte dieser Störungen in sogenannten geschlossenen analytischen Ausdrücken anzugeben, so hat man dieselben, was viel leichter ist, in unendliche Reihen entwickelt, welche nach den natürlichen Potenzen der störenden Massen, der Excentricitäten und Neigungen fortschreiten. Da aber diese 3 Größen sehr klein sind, so werden auch die Glieder dieser Reihen sehr rasch kleiner, je weiter man in ihnen fortgeht, so daß man sich in den meisten Fällen, ohne einen merkbaren Fehler, mit den ersten dieser Glieder begnügen kann.

Bemerken wir noch den hier sehr wesentlichen und bereits oben erwähnten Umstand, daß die Planeten alle sehr nahe die Gestalt einer Kugel haben und das Newton'sche Gesetz die ihm ausschließend zukommende Eigenschaft hat, daß jede Kugel alle außer ihr befindlichen Körper genau so anzieht, als ob deren ganze Masse in ihrem Mittelpunkte vereinigt wäre. Dadurch wird die Berechnung der gegenseitigen Störungen der Planeten auf die von einzelnen Punkten zurückgeführt, da man sonst auf die Gestalt derselben Rücksicht nehmen müßte, wodurch die Auflösung unseres Problems wesentlich erschwert würde.

§ 45. (Problem der drei Körper.) Ja, auch unter dieser Gestalt noch würde die Betrachtung der Störungen, die jeder Planet von allen übrigen erleidet, sehr schwer und selbst für den geübtesten und geduldigsten Rechner beinahe unausführbar sein, wenn man in der That alle diese Störungen auf einmal bestimmen sollte. Um z. B. die Perturbationen, welche die Erde von den übrigen Planeten in jedem Augenblick erleidet, zu bestimmen, sollte man, wenn man nach aller Strenge verfahren wollte, zuerst die Störungen kennen, welche jeder dieser die Erde störenden Planeten wieder von allen übrigen, die Erde selbst mit eingeschlossen, in diesem Augenblick erfährt. Allein da diese Störungen alle nur gering sind, so kann man sich erlauben, nur diejenigen Perturbationen zu bestimmen, welcher jeder einzelne Planet von jedem anderen einzelnen Planeten unseres Sonnensystems unter der Voraussetzung erleidet, daß dieser andere Planet selbst nicht weiter in seiner Bahn gestört werde, sondern bloß in seiner rein elliptischen Bewegung um die Sonne gehe. Auf diese Weise ist unser Problem eigentlich dahin gebracht, daß man immer nur drei Körper auf einmal betrachtet, nämlich die Sonne, den störenden und den von ihm gestörten Planeten, und so ist das berühmte, von uns schon (§ 10) besprochene Problem der drei Körper entstanden, dessen bloß genäherte Auflösung seit Newton, der es zuerst aufgestellt und wenigstens in dessen vorzüglichsten Teilen gelöst hat, von den vorzüglichsten Geometern und Astronomen: d'Alembert, Euler, Laplace, Lagrange u. A.

versucht und erst in unseren Tagen durch Gauß, Jakoby, Gyldèn, Tisserand u. A. zu einem Grade der Vollkommenheit ausgebildet wurde, die wohl nur wenig mehr zu wünschen übrig läßt.

Kapitel V.

Periodische Störungen.

§ 46. (Zwei Klassen von Störungen.) Die Anziehung, welche die Planeten unter einander erleiden, wird sich zunächst in den Orten dieser Körper selbst äußern, indem sich dadurch die Längen und Breiten sowie die Entfernungen derselben von der Sonne, also auch von der Erde ändern. Diese Störungen werden also vorerst nur von den Orten der beiden Planeten in ihren Bahnen, oder von ihren gegenseitigen Stellungen abhängen, und da diese Stellungen nach einigen Umläufen beider Planeten immer wiederkehren, werden auch die davon abhängigen Störungen in bestimmten Perioden wiederkehren, aus welcher Ursache man sie auch periodische Störungen genannt hat.

Allein diese, bloß von ihren gegenseitigen Stellungen abhängenden Störungen der Planeten in ihren Bahnen werden endlich auch auf diese Bahnen selbst einen Einfluß äußern, und dadurch die Gestalt, die Lage und vielleicht selbst die Größe jener Bahnen ändern. Die Änderung der Jupiterbahn z. B. in jeder gegebenen Zeit wird nämlich nicht von der Stellung des diesem Planeten zunächst stehenden Mars oder Saturn allein, sondern sie wird auch von dem Komplex aller Stellungen der auf Jupiter wirkenden Planeten seit mehreren Jahrhunderten, d. h. sie wird von der Lage aller übrigen Planetenbahnen gegen die Jupitersbahn abhängen. Diese Lagen sind nun, wie wir bald näher sehen werden, ebenfalls veränderlich, und selbst in gewissen, obgleich sehr langen Zeiträumen wiederkehrend, daher also diese Störungen, die sich nicht auf den gestörten Planeten selbst, sondern nur auf die Elemente seiner Bahn beziehen, zwar auch im allgemeinen in Perioden, aber in sehr lange, mehrere Jahrtausende umfassende Perioden eingeschlossen sein werden, und aus dieser Ursache hat man sie zum Unterschiede mit den zuerst betrachteten säkuläre Störungen genannt.

Übrigens muß man sich hüten, diese Störungen, wie ihre Benennung zu sagen scheint, als Ausnahmen von der allgemeinen Regel oder als wahre Unordnungen des Sonnensystems zu betrachten. Jede derselben ist vielmehr nur eine neue Bestätigung jenes großen Gesetzes, dem alle Körper des Himmels, selbst in ihren scheinbaren Abweichungen von demselben, in stiller Unterwerfung gehorchen.

§ 47. (Periodische Störungen des Mondes. I. Evection.) Wir wollen nun zuerst die periodischen Störungen und unter ihnen besonders die des Mondes betrachten,

weil diese uns zunächst angehen und sich durch ihre Größe vor allen anderen auszeichnen, daher auch mehrere selbst von den alten Griechen schon bemerkt worden sind.

Die elliptische Bahn der Erde und der Ort der Erde selbst in dieser Bahn werden von den sie zunächst umgebenden Planeten nur sehr wenig gestört. Im ungünstigsten Falle kann dieser Ort der Erde in ihrer Bahn nur um 40″ und ihre Entfernung von der Sonne kaum um den 10000sten Teil ihrer mittleren Distanz von derselben verrückt werden. Die Ursache davon liegt, wie bereits im vorhergehenden Kapitel bemerkt wurde, vorzüglich in den geringen Massen der störenden Planeten und in den großen Entfernungen, um welche sie von der Erde abstehen. Ebenso gering, ja in Bezug auf die Erde noch viel geringer sind also auch die Störungen, welche der Mond von denselben Planeten erleidet, von welchen er, als der beständige nahe Begleiter der Erde, im Mittel immer nahe ebenso weit entfernt ist als sie selbst. Aber mit der Sonne verhält es sich ganz anders. Der Mond bewegt sich nämlich in einer Ellipse, in deren einem Brennpunkt die Erde ist; er bewegt sich also eigentlich um die Erde, und wenn außer dieser Erde kein anderer Himmelskörper mehr groß genug oder auch nahe genug wäre, um durch seinen Einfluß diese Bewegung des Mondes zu verändern, so würde auch der Mond ungestört in seiner elliptischen Bahn um die Erde gehen. Die Sonne ist nun zwar nahe 400mal weiter als der Mond von der Erde entfernt, aber ihre Masse ist dafür auch (§ 23) 323000mal größer als die der Erde, und diese ungeheure Präpotenz ist die Ursache, daß die Wirkung der Sonne auf die Bewegung des Mondes, ihrer großen Entfernung ungeachtet, noch bedeutend genug ist, um den Ort desselben in seiner Bahn um die Erde um mehr als 2^0 zu verrücken. Eigentlich ist es nicht die Erde, sondern der gemeinschaftliche Schwerpunkt der Erde und des Mondes, der in der Zeit eines Jahres seine elliptische Bahn um die Sonne zurücklegt. Wenn man zwei in ihrer Größe sehr ungleiche Kugeln durch einen Stab verbindet, an dem gemeinschaftlichen Schwerpunkt derselben ein Band befestigt und das Ganze gleich einer Schleuder um die Hand bewegt, so hat man ein Bild von dieser Bewegung des Mondes um die Erde und mit dieser zugleich um die Sonne, nur mit dem Unterschiede, daß hier die beiden Kugeln, die Erde und der Mond, an Größe so sehr verschieden sind, daß der Schwerpunkt des ganzen Systems noch in den Körper der Erde selbst fällt. Die Sonne ist, wie gesagt, 400mal weiter von der Erde entfernt, als der Mond in seiner mittleren Distanz von der Erde absteht. Also ist auch die Distanz der Sonne von dem Monde zuweilen um $^1/_{400}$ kleiner und zuweilen wieder um ebenso viel größer als die Distanz der Sonne von der Erde. So wenig dies scheint, so hat es doch einen sehr großen Einfluß auf die Bewegung des Mondes. Dazu kommt noch, daß die Richtung der Bewegung des Mondes bald zur Sonne hin, bald von ihr weggewendet ist, wodurch die Geschwindigkeit dieses Satelliten bald vergrößert, bald wieder vermindert

wird, so daß also durch diese Störungen der Sonne die Entfernung des Mondes sowohl als auch die Größe der Richtung seiner Bewegung oft beträchtlich verändert werden kann.

Unter diesen Störungen des Mondes durch die Sonne sind besonders diejenigen merkwürdig, welche dieser Satellit in seiner Länge erleidet. Da die Excentricität seiner Bahn beträchtlich ist, so kann schon die Gleichung der Bahn (I, § 82) auf mehr als 6° gehen, wodurch bereits die rein elliptische Bewegung des Mondes um die Erde, selbst ohne Zuthun der Sonne, sehr ungleichförmig wird. Allein durch die Wirkung der Sonne werden noch viele andere Ungleichheiten eingeführt, von welchen die größte, unter dem Namen der Evection bekannte, schon von Ptolemäus (130 Jahre nach Chr. G.) entdeckt wurde. Sie zeigt sich am größten, wenn die große Axe der Mondbahn mit der Linie der Syzygien (Linie der Neu- u. Vollmonde), hingegen am kleinsten, wenn sie mit der Linie der Quadraturen (Linie des ersten u. letzten Viertels) zusammenfällt, und erreicht im ersten Falle einen Betrag von 1° 15′.

Wenn nämlich beispielsweise der Neumond zur Zeit einer Erdferne eintritt, so steht er nicht nur gerade zwischen Erde und Sonne, sondern auch von der ersteren möglichst fern, an der letzteren möglichst nahe. Die Erde wirkt daher schwächer, die Sonne stärker auf ihn, als es sonst bei Neumonden im Mittel der Fall ist; die Sonne wird ihn daher aus beiden Ursachen mehr zu sich heranziehen, also seine Erdferne vergrößern oder, was auf dasselbe hinauskommt, die Excentricität seiner Bahn verstärken. Einen halben Monat später ereignet sich der Vollmond während der Erdnähe: die Erde wirkt daher mit einer stärkeren als der mittleren Kraft auf ihn ein, und verkleinert infolgedessen seine Distanz bei der Erdnähe, was wieder eine Vergrößerung der Excentricität gleichkommt. Ganz ähnlich gestalten sich die Verhältnisse, wenn nicht der Neumond, sondern der Vollmond auf die Zeit einer Erdferne fällt: die vereinigte Wirkung von Sonne und Mond besteht wieder darin, die Ellipse der Mondbahn gleichsam auseinander zu ziehen (evehere), woher auch der Name Evection stammt.

Wenn hingegen die große Achse (Apsidenlinie) der Mondbahn, (die, wie wir weiter unten sehen werden, eine so schnelle Bewegung am Himmel hat, daß sie ihren Ort während der Zeit eines Jahres um mehr als 40° verändert), mit den Quadraturen zusammenfällt, treten bei Neu- und Vollmonden mittlere Anziehungsverhältnisse ein: in der einen Quadratur hingegen steht der Mond in der Erdnähe, in der andern in der Erdferne. Da aber in den Quadraturen die Entfernung der Sonne von Erde und Mond nahezu gleich groß ist, zieht sie auch Erde und Mond nahezu gleich stark an, und kann daher die relative Bewegung des Mondes um die Erde nicht erheblich stören: in diesem Falle ist also die Evection gering. Eine genauere Rechnung, auf die wir indes hier nicht eingehen können, zeigt aber, daß jetzt die vereinte Wirkung von Sonne und Erde die Excentricität der Mondbahn verringert.

Als Endresultat des vorhergehenden können wir uns also die Wirkungsweise der Evection durch die Annahme versinnlichen, daß die Excentricität der Mondbahn veränderlich sei. Dies erkannte auch bereits Ptolemäus, welcher die von ihm bemerkten Anomalien in der Bewegung des Mondes durch eine Verschiebung der Lage des excentrischen Kreises (I, § 64) erklärte.

§ 48. (II. Variation.) Die zweite große Ungleichheit der Mondlänge heißt die Variation; sie wurde schon im zehnten Jahrhundert von dem arabischen Astronomen Aubul Wefa erkannt, aber wieder vergessen, bis Tycho de Brahe dieselbe zum zweitenmale entdeckte. Sie kann sich bis auf 39′ erheben und hat ihren größten Wert in den 4 Punkten, die zwischen den Syzygien und Quadraturen in der Mitte liegen, d. h. in den 4 Oktanten, während sie in den Syzygien und Quadraturen selbst verschwindet. Daraus folgt zugleich, daß die Periode dieser Störung gleich 14·8 Tagen oder gleich einem halben synodischen (II, § 100) Monat ist. Eine einfache Zeichnung läßt nämlich sofort erkennen, daß durch die Attraktion der Sonne die Tangentialgeschwindigkeit des Mondes bald vergrößert, bald verkleinert wird, und daß dies ebenso, aber an anderen Teilen seiner Bahn, mit der durch die Erde auf ihn ausgeübten Anziehung der Fall ist. Die kombinierte Wirkung dieser Störungen hat nun die oben erwähnte Erscheinung zur Folge, daß der Ort des Mondes in den Oktanten am stärksten von jenem abweicht, den er ohne Einwirkung der Sonne einnehmen würde.

§ 49. (III. Kleinere Mondstörungen.) Eine dritte beträchtliche Störung des Mondes durch die Sonne, die jährliche Gleichung, ist ebenfalls schon von Tycho angedeutet worden. Durch sie wird die Länge des Mondes in den ersten 6 Monaten des Jahres vermindert, in den andern aber um eben so viel vermehrt. Zur Zeit der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne, d. h. im Anfange des April und Oktober, verschwindet diese Störung, deren Periode sonach gleich der Länge unseres Jahres ist.

Diese Störung rührt von der Ellipticität der Erdbahn her, infolge deren die Erde, und mit ihr der Mond, der Sonne Ende Dezember (im Perihele) erheblich näher stehen als Ende Juni (im Aphele), weshalb die Sonne in der ersten Epoche die Bewegung des Mondes mit einer stärkeren Kraft zu stören vermag als in der letzteren. Wie die Störungsrechnungen zeigen, besteht aber die Wirkung der Sonne im allgemeinen darin, die Attraktion der Erde zu vermindern, und die Umlaufszeit des Mondes zu vergrößern, (d. h. ohne Vorhandensein der Sonne wäre die Umlaufszeit des Mondes kürzer als sie es in der That ist). Diese verlangsamende Wirkung ist nun dem Ebengesagten zufolge im Perihele stärker als im Aphele; mit anderen Worten: die Umlaufszeit des Mondes ist im Winter länger, im Sommer kürzer als die mittlere, und dies eben ist es, was man als jährliche Gleichung bezeichnet.

Dies sind die drei vorzüglichsten Störungen der Länge des Mondes. Ihre beträchtliche Größe und die kurzen Zeiträume, in welchen sie wiederkehren, sind

die Ursache, warum sie schon von unseren Vorgängern, ihrer unvollkommenen Instrumente ungeachtet, gefunden wurden, obschon deren wahre Erklärung erst nach der Entdeckung des Gesetzes der allgemeinen Schwere und der Auflösung des Problems der drei Körper (§ 45) sich ergab. Allein es giebt noch eine große Anzahl anderer Störungen, die viel kleiner sind als jene, deren Kenntnis uns aber doch unentbehrlich ist, wenn wir die Bewegung des Mondes genau darstellen und dieselbe z. B. zur Bestimmung der geographischen Länge mit Vorteil anwenden sollen. Die Theorie dieser Störungen gab uns sehr bald die allgemeine Form dieser Gleichungen, allein die absolute Größe derselben läßt sich teilweise auch heute noch nicht gut anders als auf praktischem Wege bestimmen, trotz der vielfachen Bemühungen, welche namentlich seit Euler von Clairaut D'Alembert (1750), Tobias Mayer (1770), Bürg (1806), Burckhardt (1812), Damoiseau (1824) u. A. auf die Vervollkommnung der Mondtafeln verwendet wurden. Denn selbst die neuesten, mit außerordentlicher Sorgfalt und Sachkenntnis entworfenen Mondtafeln von P. A. Hansen stimmten zwar anfangs (1850—1860) mit dem Himmel sehr genau überein, wichen jedoch bald von den Beobachtungen so stark ab, daß man, wie Airy, Newcomb u. A. es gethan, empirische Korrektionen an dieselben anzubringen, sich veranlaßt sah. Nahe gleichzeitig mit Hansen lieferte auch Delaunay wichtige Beiträge zur Theorie des Mondes.

§ 50. (Bestimmungen der Sonnenparallaxe und der Erdabplattung durch die Störungen des Mondes.) Eine der wichtigsten und größten der im vorigen Paragraph erwähnten kleineren Mondstörungen ist die parallaktische Gleichung. Sie rührt daher, daß beim Neumonde der Mond durch die Sonne stets etwas stärker von der Erde abgezogen wird, als beim Vollmonde. Das Verhältnis zwischen diesen Abziehungen hängt natürlich von dem Verhältnisse zwischen den Entfernungen des Mondes und der Sonne von der Erde ab; und da letzteres Verhältnis einerlei ist mit dem zwischen den Horizontalparallaxen der Sonne und des Mondes, wurde die damit zusammenhängende Störung: parallaktische Gleichung genannt. Man sieht nun leicht ein, daß man aus derselben das Verhältnis zwischen der Entfernung des Mondes und der Sonne, und falls man die erstere als bekannt annimmt, auch die Entfernung der Sonne selbst durch Rechnung bestimmen kann, wenn man die Größe dieser parallaktischen Gleichung aus Beobachtungen ermittelt, und wenn man überdies die Form ihres Zusammenhanges mit dem Verhältnisse der Entfernung von Mond und Sonne kennt, welche Form durch die analytische Entwickelung der Störungen gegeben wird. Diese Methode, die Entfernung der Sonne zu bestimmen, welche zuerst von Laplace mit Glück versucht wurde, wäre wegen der bedeutenden Größe der parallaktischen Gleichung eine sehr vorzügliche, wenn nicht die genaue Ermittelung ihres Betrages mit mancherlei Schwierigkeiten, welche namentlich die Irradiation (I, § 112) bedingt, verbunden wäre. Nach den sorgfältigen Untersuchungen von

Hansen, Airy, Stone, Newcomb, Campbell, Neison u. A. kann aber die parallaktische Gleichung von 125·6″ schwerlich viel abweichen, und dieser Wert führt auf eine Sonnenparallaxe von 8·85″, also genau auf jene, die aus verschiedenen andern Methoden abgeleitet wurde (vergl. II, § 57).

Eine ähnliche Störung des Mondes hängt in ihren Coefficienten von der Abplattung der Erde an ihren beiden Polen ab. Die Beobachtungen des Mondes haben den größten Wert dieser Störung in Länge gleich 6·8″ gegeben, woraus die Abplattung $^1/_{305}$ folgt (vergl. I, § 13, III). Ganz auf dieselbe Weise ergab die Störung in Breite die Abplattung der Erde gleich $^1/_{304}$. Man erhält auf diese Weise die Abplattung unserer Erde ganz unabhängig von den Unregelmäßigkeiten ihrer Oberfläche und ihrer Dichtigkeit an verschiedenen Orten, was bei den Meridianvermessungen und selbst bei den Pendelbeobachtungen nicht der Fall ist.

Die Parallaxe des Mondes kann durch bloße Theorie aus der bekannten Länge des Sekundenpendels und aus den Gradmessungen abgeleitet werden; also kann man auch umgekehrt aus der Länge des Pendels und aus der bekannten Parallaxe des Mondes den Halbmesser der Erde bestimmen. Die Parallaxe kann man aber durch bloße Beobachtungen des Mondes in verschiedenen Höhen über dem Horizonte finden (I, § 41), ohne daß es nötig ist, den Beobachtungsort zu verändern oder weit entfernte Gegenden der Erde zu diesem Zwecke aufzusuchen.

So ist also der Astronom in den Stand gesetzt, bloß durch die Vergleichung der Theorie mit den Beobachtungen von seiner Sternwarte aus nicht nur die Größe, sondern auch die Gestalt und sogar die Entfernung der Erde von dem Monde sowie auch die Entfernung derselben von der Sonne zu bestimmen. Dies erläutert wohl aufs Deutlichste, wie innig alle Erscheinungen des Himmels unter einander und mit dem allgemeinen Gesetze der Schwere zusammenhängen, und zugleich, daß der Mond mit seinen zahllosen und so mannigfaltig in sich verwickelten Störungen vorzüglich geeignet ist, uns diesen wunderbaren Zusammenhang und zugleich die große Macht der mathematischen Analyse zu beweisen, dieses wahrhaft vortrefflichen Instrumentes, ohne dessen Hilfe es dem menschlichen Geiste unmöglich gewesen wäre, in jene Tiefen einzudringen und eben dort, wo auf den ersten Blick nur Unordnung und Verwirrung zu herrschen scheinen, die schönste Harmonie zu entdecken.

§ 51. (Periodische und spezielle Störungen der Planeten.) Indem wir nun von den periodischen Störungen des Mondes zu denen der Planeten übergehen, wollen wir uns ins Gedächtnis zurückrufen, daß man unter periodischen Störungen jene versteht, welche von der gegenseitigen Stellung der beiden Planeten in ihren Bahnen abhängen (§ 46) und daher nach bestimmten Zeiträumen periodisch wiederkehren. Der analytische Ausdruck derselben wird durch periodische Funktionen gegeben sein, deren Wertänderung innerhalb enger Grenzen eingeschlossen ist, weil dem Früheren zufolge in unserem Planetensysteme die Störungen nie stark anwachsen können. Solche Funktionen sind die Sinus und Cosinus gewisser

Winkel, welche Winkel aus der Differenz der Längen des störenden und gestörten Planeten und der Differenz der Perihellängen der beiden Bahnen zusammengesetzt sein werden, weil die gegenseitige Lage und Entfernung zweier Planeten durch diese Größen ausgedrückt werden kann.

Die analytischen Ausdrücke der periodischen Störungen für die großen Planeten hat zuerst Laplace in der Mécanique céleste so vollständig entwickelt, daß die späteren Analysten wenig mehr hinzuzusetzen fanden. Seine Ausdrücke bilden daher der Hauptsache nach noch immer die Grundlage für die von verschiedenen Seiten entworfenen Tafeln, durch welche die Berechnung des Ortes jedes Planeten für jede gegebene Zeit zugleich ungemein erleichtert und gesichert wird. Die besten Planetentafeln für die 4 inneren Planeten (Merkur, Venus, Erde, Mars) sind die 1895 von Newcomb herausgegebenen, der auch die genauesten Tafeln für Uranus und Neptun geliefert hat, während die sichersten Tafeln für Jupiter und Saturn von Le Verrier herrühren. Für die kleinen Planeten hatte man bis vor kurzem keine solche Tafeln entworfen, weil ihre großen Excentricitäten und Neigungen sowie ihre häufige Nähe an dem mächtigen Planeten Jupiter der genauen Bestimmung zu viele Hindernisse entgegenstellten. Hansen und nach ihm vorzüglich Gyldén haben uns auch diese Schwierigkeiten überwinden gelehrt, und schon besitzen wir für Iris, Flora, Egeria u. a. Asteroiden vollständige Tafeln. In der Regel aber wird bei diesen Himmelskörpern der folgende Weg eingeschlagen. Man sucht zuerst für eine bestimmte Zeit diejenige Ellipse, welche die wahre Bahn des Planeten berührt und die letzterer durchliefe, wenn von da an die Wirkungen der übrigen Planeten aufhörten. Nun bestimmt man die Änderung dieser Bahn oder den Betrag der speziellen Störungen von dieser Zeit bis zu irgend einer anderen Epoche und erhält so für diese wieder die berührende oder oskulierende Ellipse.

§ 52. (Große Störung zwischen Jupiter und Saturn.) Unter den periodischen Störungen der Planeten sind vorzüglich zwei, die zwischen den beiden größten Planeten unseres Sonnensystems statthaben, merkwürdig geworden. Schon Halley hatte bemerkt, daß die Umlaufszeit Saturns zur Zeit des Hipparch (140 Jahre v. Chr.) größer und die des Jupiter kleiner war als zu Newton's Zeit, oder daß die mittlere Bewegung des Saturn seitdem langsamer und die des Jupiter geschwinder geworden sei. Diese Entdeckung war um so auffallender, da man bei allen anderen Planeten die Umlaufszeiten aus den älteren und neueren Beobachtungen durchaus konstant oder unveränderlich gefunden hatte, und da man bald darauf auch durch die Theorie belehrt wurde, daß dieses Element der Planetenbahnen in der That immer konstant bleiben müsse.

Euler war der erste, der diese sonderbare Erscheinung der Analyse zu unterwerfen suchte. Er fand auch in der That eine solche Verzögerung des einen und eine Beschleunigung des anderen jener beiden Planeten; aber da er durch seine Theorie beide von gleicher Größe gefunden hatte, was mit den Beobachtungen

nicht übereinstimmte, so konnte seine Erklärung dieser Erscheinung, so sinnreich sie auch war, nicht angenommen werden. Auch Lagrange beschäftigte sich später mit diesem ebenso schwierigen als interessanten Gegenstande, aber ebenfalls ohne Erfolg. Diese und mehrere andere ausgezeichnete Geometer suchten den Grund jener Ungleichheit bald in dem Widerstande des Äthers, in welchem sich die Planeten bewegen sollen, bald in den Störungen, welche die Kometen auf dieselben äußern, bald in der Zeit, welche die Kraft der Schwere brauchen soll, von der Sonne bis zu diesen entfernten Planeten zu gelangen, u. dergl. Diese Mutmaßungen gaben allerdings zu anderen, nicht minder wichtigen Entdeckungen Veranlassung, aber sie ließen doch den Gegenstand, den man eigentlich suchte, im Dunkel.

In den letzten Decennien des verflossenen Jahrhunderts verglich Lambert diejenigen Beobachtungen Saturns und Jupiters, die Tycho angestellt hatte, mit seinen eigenen und fand zur noch größeren Überraschung der Astronomen, daß, ganz im Widerspruche mit Halley's Entdeckung, die mittlere Bewegung Saturns seit jener Zeit bis auf seine Tage sich beschleunigt, und die des Jupiter im Gegenteile sich verzögert habe. Dies machte viele an der Existenz dieser beiden Ungleichheiten zweifeln, indem sie die, wie sie meinten, nur scheinbare Veränderung dieser beiden Bewegungen der Unvollkommenheit der älteren Beobachtungen zuschrieben. Allein Laplace glaubte vielmehr eben in diesem äußeren Widerspruche das Dasein einer Störung von sehr langer Periode zu erkennen, durch welche die Bewegungen dieser beiden Planeten mehrere Jahrhunderte durch abwechselnd bald beschleunigt, bald wieder verzögert werden könnten. Um diese Ungleichheit aufzusuchen, mußte er die Gesamtstörung dieser beiden Planeten, die man bisher, wie bereits oben (§ 44) gesagt wurde, nur in den ersten, und sonach größten Gliedern ihrer unendlichen Reihen entwickelt hatte, noch auf mehrere der folgenden Glieder fortführen und zusehen, ob sich unter diesen letzten eine Störung von sehr langer Periode finde, die den beobachteten Ungleichheiten jener beiden Planeten entspricht.

Bei dieser mühevollen Untersuchung kam ihm eine andere wichtige Entdeckung zu statten, die man schon früher gemacht hatte. Es ist nämlich eine unmittelbar aus der äußeren analytischen Form hervorgehende Eigenschaft der Störungsglieder, daß einige derselben in allen jenen Fällen einen bedeutenden Wert erhalten, wo die Umlaufszeiten oder, was dasselbe ist, wo die mittleren täglichen Bewegungen der beiden Planeten sich sehr nahe wie zwei ganze Zahlen verhalten. Dieser Fall tritt aber bei Jupiter und Saturn ein, da die siderische Umlaufszeit Jupiters 4332·6 und die des Saturn 10 759·2 Tage beträgt und diese beiden Zeiten sich sehr nahe wie die beiden ganzen Zahlen 2 und 5 verhalten. Laplace fand auch in der That, durch diese Anhaltspunkte geleitet, nach längerem Suchen unter den Störungen, die Saturn von Jupiter leidet, ein Glied, das bis auf 49′ steigen kann, und unter den Störungen Jupiters ein anderes, jenem entsprechendes, dessen

größter Wert 20′ beträgt. Die Periode dieser Störungen ist für beide nahe gleich 930 Jahre, und beide sind zugleich so beschaffen, daß die eine derselben immer eine Beschleunigung andeutet, wenn die andere eine Verzögerung enthält. Alles dies stimmte mit den bisher gesammelten Beobachtungen jener Planeten aus den alten nicht minder als aus den mittleren und neuen Zeiten so wohl zusammen, daß an der Richtigkeit dieser Erklärung einer früher so rätselhaften Erscheinung nicht weiter gezweifelt werden konnte.

Im Jahre 1560 erreichten diese beiden Störungen ihren größten Wert und zu dieser Epoche war die Bewegung Saturns am langsamsten, die des Jupiter aber am schnellsten. Seitdem näherten sich diese beiden Bewegungen ihren mittleren Werten immer mehr, bis sie im Jahre 1790 denselben gleichkamen. Man sieht nun, wie Halley und Lambert so ganz verschiedene Resultate finden konnten, wenn sie Beobachtungen von solchen Epochen mit einander verglichen, zu welchen die beiden Planeten in Beziehung auf ihre mittleren Bewegungen in ganz andern Verhältnissen sich befanden. Wenn das Wiederaufleben der Wissenschaften in Europa etwa 500 Jahre später eingetreten wäre, so würden die Beobachtungen die entgegengesetzten Erscheinungen von denen angezeigt haben, die Halley gefunden hat. Die astronomischen Tafeln der Inder, denen dieses Volk ein so hohes Altertum beilegt, zeigen deutlich, daß sie zu einer Zeit entworfen sind, wo die Bewegung Saturns die langsamste und die Jupiters die schnellste war, und es läßt sich daher eben daraus mit einiger Sicherheit die Zeit der Entstehung dieser Tafeln ableiten. Vereinigt man damit die Excentricitäten, welche diese Tafeln mehreren Planetenbahnen beilegen, so wird es, wie Laplace gezeigt hat, sehr wahrscheinlich, daß diese Tafeln, weit entfernt, 4000 Jahre vor dem Anfange unserer Zeitrechnung entstanden zu sein, wie die Inder vorgeben, erst gegen den Anfang des 16. Jahrhunderts n. Chr. nach dem Muster der europäischen Tafeln zusammengetragen wurden.

Kapitel VI.

Säkuläre Störungen.

§ 53. (Säkuläre Störungen des Mondes; Bewegung der Knotenlinie.) Es ist bereits im Anfange des vorhergehenden Kapitels bemerkt worden, daß man unter den säkulären Störungen der Planeten diejenigen versteht, welche nicht sowohl diese Planeten selbst als vielmehr die Bahnen derselben durch die Einwirkung der anderen Planeten erleiden.

Um auch hier wieder die säkulären Störungen des Mondes zuerst zu betrachten, so ist für sich klar, daß dieser Satellit, der sich in einer nahe 5° gegen die Ekliptik geneigten Ebene bewegt, durch die Attraktion der Sonne, die

in der Ekliptik liegt, dieser Ekliptik selbst genähert werden muß. Diese Annäherung des Mondes zur Ekliptik hat offenbar immer statt, der Mond mag sich auf der nördlichen oder auf der südlichen Seite der Ekliptik befinden, und die Folge derselben muß sein, daß der Mond die Ekliptik immer eher erreicht, als er ohne die Attraktion der Sonne gethan hätte. Das heißt aber mit anderen Worten: die Knoten der Mondbahn (II, § 100) rücken dem Monde entgegen, und da der Mond von West gen Ost um die Erde geht, so werden die Knoten seiner Bahn von Ost gen West oder rückwärts gehen. Diese Bewegung der Knoten ist übrigens nicht immer dieselbe, sondern hängt von der Entfernung der Sonne und der Erde von dem Monde ab, indem sie zur Zeit der Syzygien am größten und während der Quadraturen am kleinsten ist. Im Mittel beträgt die Umlaufszeit der Knoten der Mondbahn in Beziehung auf die Gestirne oder die siderische Revolution (I, § 84) derselben 6793 Tage oder 18·6 Jahre und die Revolution des Mondes selbst in Beziehung auf seine Knoten, d. h. die Zeit, die zwischen zwei nächsten Durchgängen des Mondes durch einen seiner Knoten verfließt, ist 27·212 Tage, welche Zwischenzeit man den Drachenmonat (II § 100) zu nennen pflegt.

§ 54. (II. Bewegung der Apsiden der Mondbahn.) Da die Attraktion der Sonne die Entfernung des Mondes von der Erde bald vermehrt und bald wieder vermindert, so folgt daraus auch eine Änderung der Lage der großen Achse der Mondbahn in dem Sinne, daß die Achse der Sonne folgt, also von West nach Ost fortrückt. Die Beobachtungen zeigen, daß diese Fortrückung der Apsiden der Mondbahn in Beziehung auf die Fixsterne jährlich 40·69° beträgt. Daraus folgt die siderische Umlaufszeit der Apsiden des Mondes gleich 3233 Tagen oder 8·85 Jahren und die Revolution des Mondes selbst in Beziehung auf die Apsiden gleich 27·555 Tagen, welche letzte Zeit man die anomalistische Revolution des Mondes zu nennen pflegt. Übrigens ist auch diese Bewegung mehreren Ungleichheiten unterworfen, die ebenfalls von dem Stand der Sonne gegen die Erde und gegen den Mond abhängen.

Die Bewegung der Apsiden des Mondes hat die Geomter des verflossenen Jahrhunderts lange beschäftigt. Schon Newton hat sie aus dem Gesetze der allgemeinen Schwere abzuleiten gesucht, aber durch seine Rechnungen nur nahe halb so groß gefunden, als sie durch die Beobachtungen angezeigt wird. Später fand Clairaut durch eine viel sorgfältigere Analyse nahe dasselbe, und die späteren Untersuchungen Euler's und d'Alembert's schienen dieses Resultat zu bestätigen. Dies war also gleichsam der erste Fall, wo die Theorie mit der Beobachtung nicht übereinstimmte, oder wo das Newton'sche Gesetz der allgemeinen Schwere nicht hinreichend gefunden wurde, um daraus alle Erscheinungen des Himmels zu erklären. Auch ließ sich Clairaut, seines seltenen Scharfsinnes ungeachtet, durch diese Nichtübereinstimmung verführen, ein anderes, kompliziertere Gesetz der Natur anstatt jenes einfachen, das Newton aufgestellt hatte, auf die

Bahn zu bringen, bemerkte aber später selbst, daß er die Annäherung seiner Berechnung nicht weit genug getrieben hatte, und als er dieselbe mit mehr Umsicht wiederholte, fand er, daß die Theorie auch hier mit den Beobachtungen in vollkommenem Einklang sei. Nach ihm wurde diese wesentliche Verbesserung auch von Euler und d'Alembert als richtig erkannt, und so wurde dieselbe Erscheinung, die man früher als eine Ausnahme von dem allgemeinen Gesetze der Schwere betrachtete, jetzt einer der schönsten Beweise für das Dasein dieses Gesetzes. Darin eben spricht sich das Wesen der Wahrheit aus, daß jedes neue Hindernis, das sich gegen dieselbe zu erheben scheint, schließlich nur der Gegenstand eines neuen Triumphes für sie wird.

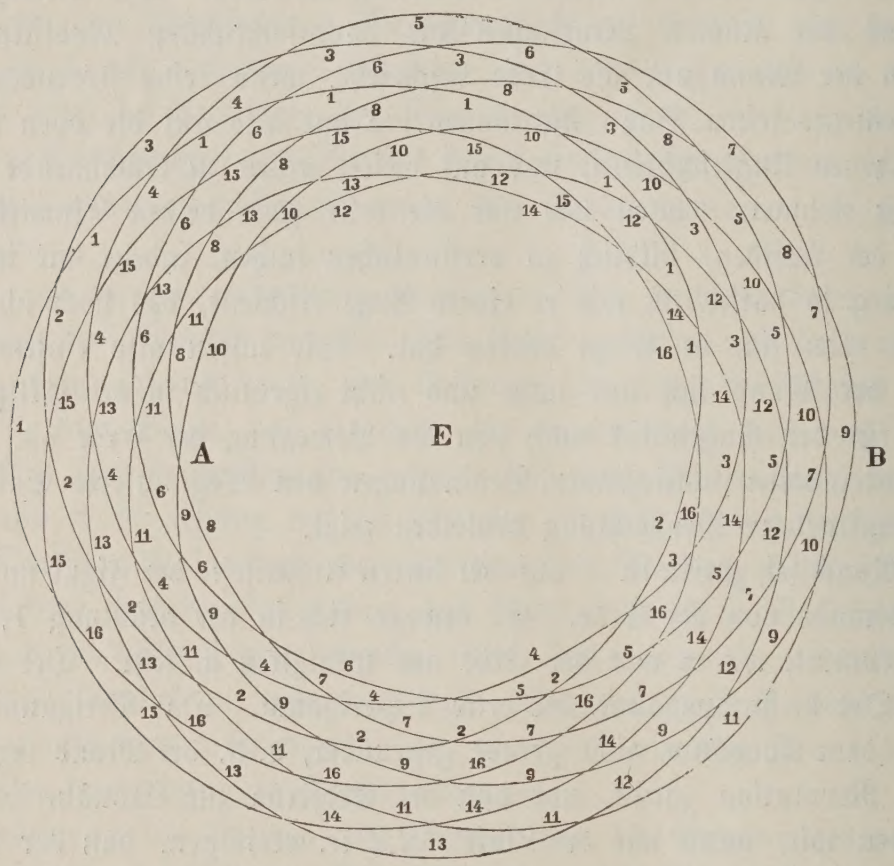
§ 55. (Darstellung der Bewegung der Apsiden der Mondbahn.) Die Bewegungen der Apsiden und der Knoten verursachen die hauptsächlichsten Modifikationen des Weges, den der Mond um die Erde beschriebe, wenn keine störenden Einflüsse auf die Elemente seiner Bahn stattfänden. Ohne also auf die oben (§§ 47 bis 49) besprochenen Ungleichheiten, und auf weiter unten zu erwähnende Störungen Rücksicht zu nehmen, wollen wir nur die erste jener beiden Einwirkungen, die Bewegung der Apsiden, bildlich zu versinnlichen suchen, indem wir in Fig. 102 den Mondweg so darstellen, wie er einem Auge erschiene, das hoch über der Erde stände, die man sich in E zu denken hat. Wir lassen also einstweilen außer Acht, daß der Mond sich nur nahe und nicht eigentlich in der Ekliptik bewegt, und sehen für den Augenblick auch von der Bewegung der Erde ab. Verfolgen wir nun unter diesen abkürzenden Bedingungen den Weg unseres Satelliten, wie uns die unmittelbare Beobachtung denselben zeigt.

Der Mond sei zuerst in 1 auf der linken Außenseite der Figur und in seinem größten Abstande von der Erde. Er bewege sich in der Richtung 1,1,1 ꝛc., bis er nach 2 kommt, wo er von der Erde am wenigsten absteht. Der erste mit 1 bezeichnete Ort heißt Apogäum, die erste 2 Perigäum. Das Perigäum steht, wie man sieht, dem Apogäum nicht gerade gegenüber, d. h. der Mond legt mehr als eine halbe Revolution zurück, um von der Erdferne zur Erdnähe zu gelangen; ebenso finden wir, wenn wir die Linie 2,2,2 ꝛc. verfolgen, daß der Mond vom Perigäum zum Apogäum mehr als seine halbe Bahn um die Erde beschreibt. Folgen wir den Ziffern der Reihe nach, so erhalten wir endlich die ganze Bahn und alle nach einander vom Monde erreichten Perigäen und Apogäen. Neun vollständige Revolutionen bringen das Gestirn wieder zum Apogäum 1, und bis dahin wird es 8mal in der Erdferne und ebenso oft in der Erdnähe gestanden haben.

Die bisher dargestellten Erscheinungen würden stattfinden, wenn der Mond sich genau in der Ekliptik und um die fixe Erde in einer Ellipse bewegte, deren Achse sich in derselben Richtung wie der Mond um E drehte. Damit haben wir also die durch die Bewegung der Apsiden bewirkten Änderungen des Mondortes in der Ekliptik erläutert.

In der Wirklichkeit haben wir uns aber den Mittelpunkt E der Fig. 102, die Erde, um die Sonne kreisend zu denken, somit den Faden, welcher das Netzwerk der Fig. 102 bildet, längst der Erdbahn entwickelt vorzustellen. Es geht nicht wohl an, in dem kleinen Maßstabe, der uns hier zur Verfügung steht, diese eigentliche Bahn des Mondes, auch abgesehen von dessen Änderungen in Breite, bildlich vorzuführen. Der Leser wird sich aber leicht selbst eine das Ganze veranschaulichende Zeichnung anfertigen, wenn er die folgenden Überlegungen anstellt. Der Halbmesser der Mondbahn beträgt beiläufig $^1/_{400}$ des Halbmessers der Erdbahn, beide Bahnen kreisförmig gedacht. Der Mond vollendet etwa 13 Umläufe

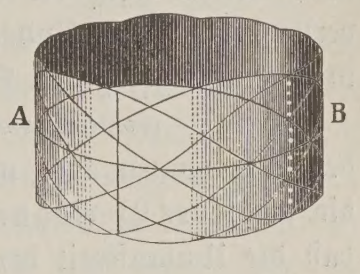
Fig. 102.



um die Erde innerhalb eines Jahres, d. h. während die Erde einmal vollständig um die Sonne kreist. Zieht man also mit einem Halbmesser von etwa 1 m einen Kreis als Erdbahn, teilt man denselben in 13 gleiche Teile, so geht die Erde durch einen dieser Teile, während der Mond einen Umlauf um dieselbe vollendet; die eine Hälfte dieses Mondweges liegt in Bezug auf die Sonne diesseits, die andere jenseits der Erdbahn, und nie entfernt sich der Mond von derselben um mehr als $^1/_{400}$ des Halbmessers der Erdbahn, also hier von dem die Erdbahn vorstellenden Kreise nie mehr als $^1/_{400}$ m oder 2·5 mm, so daß der thatsächliche Mondweg eine Schlangenlinie bildet, die gegen die Sonne stets konkav ist.

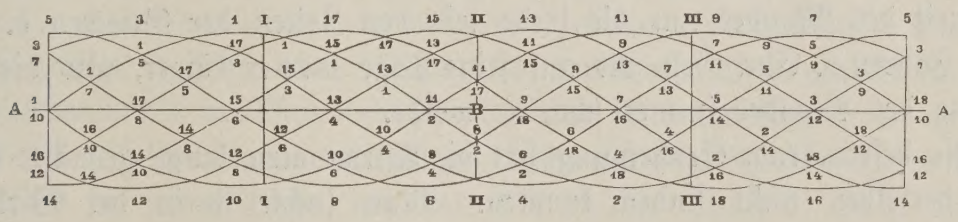
Wollen wir nun auch auf die Bewegung des Mondes in Breite eingehen, so müssen wir uns gegenwärtig halten, daß wir in Fig. 102 nur jene Reihenfolge von Punkten betrachteten, unter oder über deren einem der Mond eben zu finden ist. Demnach haben wir noch das Steigen und Fallen der Bahn in Bezug auf die Ekliptik zu berücksichtigen. Zu diesem Zwecke wollen wir uns die Erde der Einfachheit wegen wieder ruhend und in Fig. 103 den Cylinder vorstellen, welchen der Mond vermöge seiner Breitenänderung um die ruhende Erde beschriebe. Fig. 104 stelle die Abwicklung dieses Cylinders senkrecht auf die Ekliptik dar. Die Buchstaben bezeichnen in Fig. 103 und 104 dieselben Punkte wie in Fig. 102, die Ziffern haben die gleiche Bedeutung mit Fig. 102, ABA ist also die Ekliptik. Die äußeren Linien 5 bis 14 zu beiden Seiten der Figur würden sich decken, wenn man den Cylinder wiederherstellte, und die Vertikalen I, II, III teilten dann den ganzen Umlauf um die Erde in vier Viertel.

Fig. 103.



Verfolgt man die Ziffern der Reihe nach, so erhält man eine Vorstellung von der ganzen Bahn wie in Fig. 102. Gehen wir vom aufsteigenden Knoten 1 aus, so sehen wir, daß der Mond die größte Höhe über der Ekliptik erreicht, bevor er eine Viertelrevolution zurücklegt, und ebenso früher zu dem niedersteigenden Knoten 2 gelangt, als die halbe Umlaufszeit abgelaufen ist; im aufsteigenden Knoten 3 befindet er sich, bevor die ganze Revolution vollendet ist u. s. f.

Fig. 104.



Das Fallen und Steigen des Mondes erfüllt sich also in einer Periode, die kleiner ist als eine Umlaufszeit, so daß, wenn ein Stern sich gleichförmig in der Ekliptik bewegte und zugleich mit dem Monde durch dessen Knoten ginge, das Intervall zwischen zwei nächsten Bedeckungen des Sternes durch den Mond kleiner als die halbe Mondrevolution wäre. Acht volle Umläufe brächten in unserer Figur den Mond wieder zur Ekliptik in 1, und bis dahin hätte er 17 mal seine Knoten passiert.

Die Erscheinungen der Breite des Mondes werden demnach dargestellt, wenn man sich dessen ekliptische Bahn nicht wie früher in der Ekliptik, sondern teils über, teils unter dieser Ebene denkt, so daß die Ebene der Mondbahn die Ekliptik in einer durch E (Fig. 102) gehenden Geraden schneidet. Während der Mond sich in dieser Ellipse bewegt und während die Ellipse sich in ihrer Ebene selbst

dreht, so daß Apogäum und Perigäum dem Monde gleichsam nachgeschoben werden, wie oben erläutert wurde, muß die Knotenlinie langsam um E kreisen in einer der Mondbewegung entgegengesetzten Richtung, d. h. von Ost nach West. So ist der Ausdruck: rückläufige Bewegung der Knoten zu verstehen, und die Änderung der größten Breite erhält man, indem man der Ellipse eine kleine Schwankung um die Knotenlinie verleiht, nämlich ein alternierendes Nähern zur oder Entfernen von der Ekliptik, das beiläufig innerhalb eines Monats sich vollzieht.

Wenn auch in dem kleinen Maßstabe obiger Figuren die Unregelmäßigkeiten der betreffenden Kurven gegen die Wirklichkeit vergrößert werden mußten, so erkennt man daraus doch die Art der krummen Linien, um die es sich handelt, und versteht die Verwicklungen der Mondbahn, die schon durch die beiden hier allein in Betracht gezogenen Störungen herbeigeführt werden.

§ 56. (Acceleration der mittleren Bewegung des Mondes.) Einen ähnlichen Fall, der den Astronomen noch mehr Mühe machte als die Bewegung der Apsiden, bot die mittlere Bewegung des Mondes dar. Es ist bereits (§ 52) gesagt worden, daß die Umlaufszeit der Planeten um die Sonne, also auch die der Satelliten um ihre Hauptplaneten, aus theoretischen Gründen, von welchen wir später sprechen werden, als konstant oder als unveränderlich erkannt wurde. Da mit diesen Umlaufszeiten, nach dem dritten Kepler'schen Gesetze, die halben großen Achsen der Bahnen in unmittelbarem Zusammenhange stehen, indem nach diesem Gesetze eines durch das andere gegeben ist, so wurden dadurch auch diese Halbachsen der Bahnen als unveränderlich erwiesen.

Nicht so bei dem Monde. Auch hier, wie oben (§ 52) bei den beiden größten Planeten unseres Sonnensystems, hat Halley zuerst gefunden, daß die Umlaufszeit des Mondes um die Erde seit den Zeiten der Griechen d. h. nahe seit 200 Jahren v. Chr. Geb. bis auf seine Tage immer kürzer, also die mittlere Bewegung des Mondes immer schneller werde.

Diese befremdende Erscheinung hat die Astronomen lange gequält, da sie die Ursache derselben nicht finden konnten. Man suchte sie in der Wirkung der Planeten, in der Abweichung des Mondes und der Erde von der Kugelgestalt, in dem Widerstande des Äthers, in der allmählichen Fortpflanzung der Schwere u. s. f. Das letztere führte zuerst Laplace aus und kam zu dem Schlusse, daß die Annahme, die Schwere pflanze sich 7 680 000mal schneller fort als das Licht, die Acceleration des Mondes in der That erklären würde. Doch befriedigte ihn diese Erklärung nicht; er kam wiederholt auf den Gegenstand zurück, und fand endlich 1787 die wahre Ursache. Gleichzeitig mit Laplace beschäftigte sich auch Lagrange mit diesem Gegenstande, und er hätte, wenn er einige von ihm gefundene Gleichungen über die säkulären Änderungen der Bahnelemente der Planeten nicht bloß auf Jupiter und Saturn, wo sie unmerklich bleiben, sondern auch auf den Mond angewendet hätte, diese schöne Entdeckung ein paar Jahre vor Laplace machen können.

Die Ursache dieser Erscheinung liegt nämlich darin, daß die Excentricität der Erdbahn der Theorie gemäß seit den historischen Zeiten immer kleiner wird, daß also auch die elliptische Erdbahn, unbeschadet der Unveränderlichkeit der großen Achse derselben, einem Kreise immer näher kommt, wodurch die Wirkung der Erde auf die Bewegung des Mondes vergrößert wird. Denn die Wirkung der Sonne auf den Mond wird bedingt durch die Entfernung der Erde von der Sonne: diese aber hängt von der Excentricität der Erdbahn ab und wird größer, wenn sie sich verkleinert, wodurch die Wirkung der Sonne auf den Mond ebenfalls verkleinert wird, und er sich dadurch der Erde nähert. Schritte nun die Annäherung des Mondes zur Erde ohne Aufhören fort, so müßte er endlich ganz auf sie stürzen; allein diese verderbliche Folge haben wir nicht zu befürchten. Die Analyse hat uns nämlich gezeigt, daß die Excentricität der Erdbahn nicht immer, sondern nur bis zu einem gewissen Grade abnehmen und dann wieder wachsen wird, so daß die Veränderungen derselben immer in bestimmte Grenzen eingeschlossen sind. Die Perioden, während welcher sie von ihren größten Werten zu ihren kleinsten und umgekehrt übergeht, enthalten aber viele Jahrtausende und können jetzt, wo die Massen der Planeten noch nicht mit aller Schärfe bekannt sind, auch nicht mit völliger Genauigkeit angegeben werden. So viel steht indes fest, daß die jetzige Periode der Abnahme der Excentricität der Erdbahn, etwa von 11 000 vor Chr. bis 25 000 nach Chr. (Vgl. Tab. S. 840) dauert. Dann wird die Excentricität der Erdbahn wieder zunehmen, und damit auch wieder eine Entfernung des Mondes von der Erde eintreten. Übrigens haben wir die weitere interessante Thatsache bereits (§ 27) besprochen, daß die Theorie die Acceleration des Mondes geringer giebt, als die Beobachtungen zu erfordern scheinen.

§ 57. (Säkuläre Störungen in der Bewegung der Apsiden- und Knotenlinie.) Die Theorie hat auch gezeigt, daß die oben (§§ 53, 54) erwähnten Bewegungen der Apsiden- und der Knotenlinie der Mondesbahn ähnlichen säkulären Störungen unterworfen sind, die aus derselben Quelle entspringen. Während nämlich die mittlere Bewegung des Mondes in seiner Bahn mit der Zeit immer schneller wird, nimmt die Bewegung des Perigäums und die der Knotenlinie immer ab, und zwar in einem Jahrhundert jene um 50″ und diese um 7″. Die Beobachtungen der künftigen Jahrhunderte werden diese Bewegungen noch genauer bestimmen, da sie sich in der Folge der Zeiten anhäufen. Durch sie wird einst die Länge des Mondes um volle 9°, und die Länge des Perigäums der Mondbahn sogar um volle 30° verändert werden, und aus diesem großen Unterschiede werden unsere späten Nachfolger dereinst mit großer Sicherheit auf die viel geringere Veränderung der Excentricität der Erdbahn zurückschließen, da sie diese in der Bahn des Mondes gleichsam wie in einem unermeßlichen Hohlspiegel sehr vergrößert erblicken werden. Schon seit den Zeiten der Griechen bis auf unsere Tage ist die Länge des Knotens der Mondbahn um 2° und die seines Perigäums um 6·6° verändert worden, während sich in derselben Zeit die Gleichung der Bahn der Erde (I § 82)

nur um 8′, also nur um den 50sten Teil der Bewegung des Mondperigäums geändert hat.

§ 58. (Säkuläre Änderungen der Rotation des Mondes.) Da uns der Mond immer dieselben Flecken zeigt, oder, da er uns immer dieselbe Seite zuwendet, dreht er sich in derselben Zeit um seine Achse, in welcher er sich um die Erde bewegt (II, § 105). Wir müssen daher annehmen, daß die Rotation des Mondes um seine Achse der mittleren Bewegung desselben um die Erde vollkommen gleich ist. Allein welcher mittleren? Denn wir haben eben (§ 56) gesehen, daß seine mittlere Bewegung veränderlich ist, indem sie seit mehr als 13 000 Jahren immer zugenommen hat und noch etwa 24 000 Jahre zunehmen, dann aber wieder allmählich langsamer werden wird. Wenn daher die Rotation des Mondes eine für alle Zeiten unveränderliche Größe wäre, wie dies bei der Erde der Fall ist, so müßte sie in der Folge der Jahrhunderte schon längst von der Revolution dieses Satelliten verschieden geworden sein, und wir würden daher schon seit Jahrtausenden einen großen Teil der von uns jetzt abgewendeten Hemisphäre desselben zu Gesichte bekommen haben. Da dies gegen die Erfahrung ist, muß man annehmen, daß auch die Rotation des Mondes einer ähnlichen säkulären Veränderung wie die Revolution unterworfen sei. Weil aber andererseits jede freie Rotation eines Körpers ihrer Natur nach nicht anders als gleichförmig sein kann, so muß es eine besondere äußere Kraft geben, die auf den Mond einwirkt und ihn zwingt, der Erde dieselbe Seite unverwandt zuzukehren.

Diese Kraft kann offenbar nur in der Erde liegen. Nimmt man an, wie dies sehr wahrscheinlich ist, daß der Mond zur Zeit seiner Entstehung ein flüssiger Körper war, so wird die Erde wegen ihrer großen Nähe den ihr nächsten Punkt, d. h. den Mittelpunkt der uns sichtbaren Scheibe des Mondes, unter allen am stärksten angezogen und so sich diesen Punkt genähert haben. Dadurch erhielt die Oberfläche dieses Satelliten die Gestalt eines Ellipsoids, dessen kleinste Achse die Rotationsachse und dessen größte gegen die Erde gekehrt war. (Vgl. II, §§ 109). Es ist nun äußerst unwahrscheinlich, daß der primitive Stoß, welcher dem Monde (§ 20) seine Bewegung gab, genau eine solche Beschaffenheit hatte, wodurch die drehende und die fortschreitende Bewegung desselben einander ganz gleich geworden wären. Allein unter der Voraussetzung, daß die große Achse des Mondsphäroids ursprünglich gegen die Erde gerichtet war, ist es schon hinlänglich, diese beiden Bewegungen nur nicht zu sehr verschieden anzunehmen, um daraus jene Erscheinung der Gleichheit beider Bewegungen zu erklären. Wenn nämlich auch die große Achse des Mondes jeden Augenblick von der Richtung nach dem Mittelpunkt der Erde sich zu entfernen strebt, so wird sie doch durch die Anziehung der Erde selbst immer wieder in ihre frühere Lage zurückgebracht werden, so wie z. B. die Schwere der Erde ein in Bewegung begriffenes Pendel, so oft es sich von seiner Vertikallinie entfernt, immer wieder zu derselben zurückführt. Durch diese Attraktion der Erde entsteht also eine Art von wahrer,

nicht bloß scheinbarer Libration des Mondes (II, § 116), die aber sehr gering sein muß, da unsere Beobachtungen sie noch nicht zu erkennen gegeben haben. Auch die Abplattung des Mondes an seinen beiden Polen ist so klein, daß sie bisher unseren schärfsten Instrumenten entging, und daß wir daher die Gestalt dieses Satelliten ohne merklichen Fehler als vollkommen kugelförmig annehmen können. Nach der Theorie aber ist die kleine Achse desselben gleich 0·9989, wenn die große, gegen den Mittelpunkt der Erde gekehrte Achse für die Einheit angenommen wird, so daß also seine Abplattung nur den tausendsten Teil dieser Achse beträgt.

§ 59. (Scheinbare Librationen des Mondes.) Die Rotation des Mondes muß, wie gesagt, stets seiner Revolution genau gleich sein, weil schon der geringste Unterschied sich mit der Zeit anhäufen würde, wodurch sich nach und nach die andere Seite des Mondes uns zuwenden müßte, die doch bisher noch kein menschliches Auge gesehen hat. Zwar bemerkt man, wie wir schon (II, 116) bei Gelegenheit der Mondkarte erwähnten, mit einiger Aufmerksamkeit, daß die dem Rande zunächst stehenden Flecken zuweilen auf die von uns abgewendete Hemisphäre des Mondes treten und uns unsichtbar werden, und daß ebenso andere, die wir zuerst nicht gesehen hatten, auf der uns zugewendeten Hälfte dieses Satelliten erscheinen. Allein man sieht bald, daß dies nur scheinbare Bewegungen sind, die von der ungleichförmigen Bewegung des Mondes um die Erde und von unserer Stellung gegen diesen Himmelskörper kommen. Wegen seiner elliptischen Bewegung, sowie auch wegen der großen Störungen, die er von der Sonne erleidet (§ 47), geht er in seiner Bahn bald mit größerer, bald wieder mit kleinerer Geschwindigkeit und muß daher uns, die wir im Mittelpunkte seiner Bahn stehen, bald auf dem östlichen, bald wieder auf dem westlichen Rande einen kleinen Teil seiner von uns sonst abgewendeten Seite zukehren. Da ferner die Rotationsachse des Mondes auf der Ebene seiner Bahn nicht genau senkrecht steht, sondern um einen Winkel von nahe 83° gegen sie geneigt ist, so werden wir, wenn er den höchsten Punkt seiner Bahn einnimmt, von seinem nördlichen Rande etwas weniger und von seinem südlichen etwas mehr erblicken, als wenn er in dem tiefsten Punkte derselben steht. Da endlich derjenige Punkt des Mondrandes, der bei seinem Aufgange am höchsten steht, bei seinem Untergange nahe am tiefsten erscheint, so wird ein Beobachter auf der Oberfläche der Erde an dem äußersten Rande des Mondes auch andere Flecken sehen als der Antipode desselben. Allein alle diese, übrigens sehr geringen Veränderungen, die man bekanntlich die scheinbaren Librationen des Mondes nennt, haben ihren Grund nur in unserer Stellung gegen denselben und sind daher bloß als optische Erscheinungen zu betrachten, die mit den Bewegungen des Mondes selbst in keinem unmittelbaren Zusammenhange stehen. Die erste dieser Librationen, in der Länge, kann, aus dem Mittelpunkte des Mondes gesehen, höchstens 8°, die Libration der Breite 6·8° und endlich die dritte oder die Libration der Parallaxe 1° betragen.

§ 60. (Säkuläre Störungen der Planeten.) Es wurde bereits oben gesagt, daß die strenge Auflösung der Störungsprobleme die Kräfte unserer Analyse übersteigt, und daß man sich daher mit einer bloßen Annäherung begnügen muß, die uns glücklicherweise durch mehrere Einrichtungen unseres Sonnensystems sehr erleichtert wird. Dessenungeachtet ist die Aufgabe auch so noch sehr schwer und verwickelt, wie sie denn auch den vorzüglichsten Geometern, die seit Newton gelebt haben, Beschäftigung genug gegeben hat. Gewöhnlich stellt man sich dabei einen imaginären Planeten vor, der sich nach Kepler's Gesetz in einer Ellipse bewegt, deren Elemente selbst sich nach und nach ändern, während sich um diesen eingebildeten Planeten der wahre in einer Schlangenlinie bewegt, deren Natur von

Epoche	Excentricität	Länge des Perihels	Neigung der Erdbahn gegen Ekliptik von 1800	Länge des aufsteigenden Knotens
Vor Chr. 98200	0·0473	316° 18′	3° 45′ 31″	96° 34′
88200	0·0452	340 2	2 42 19	76 17
78200	0·0398	4 13	1 18 58	73 47
68200	0·0316	27 22	1 13 58	136 8
58200	0·0218	46 8	2 36 42	136 29
48200	0·0131	50 44	3 40 11	116 9
38200	0·0109	28 36	4 3 1	91 59
28200	0·0151	25 50	3 41 51	66 49
18200	0·0188	44 0	2 44 12	41 34
8200	0·0195	69 47	1 24 35	16 39
Nach Chr. 1800	0·0168	99 30	0 0 0	0 0
11800	0·0115	134 14	1 14 26	148 15
21800	0·0047	192 22	2 7 46	124 29
31800	0·0059	318 47	2 33 19	100 29
41800	0·0124	6 25	2 27 53	75 31
51800	0·0173	38 3	1 51 54	48 13
61800	0·0199	64 31	1 51 52	10 47
71800	0·0211	86 14	1 34 35	220 38
81800	0·0188	101 38	1 45 40	170 15
91800	0·0176	109 19	2 40 56	139 3
101800	0·0189	114 5	3 2 57	109 57

den periodischen Störungen abhängt, indes die erwähnten Änderungen der elliptischen Elemente die säkulären Störungen zeigen. Es würde dem Zwecke dieser Schrift ganz unangemessen sein, uns in eine nähere Darstellung der hierher gehörenden Berechnungen einzulassen; wir wollen uns daher damit begnügen, an einem Beispiele den Umfang und die Art der Veränderungen zu erläutern, welche durch die säkulären Störungen in den Bahnen der Planeten hervorgebracht werden. Dazu wählen wir die Erdbahn, und teilen die veränderlichen Elemente derselben nach Le Verrier's Berechnungen, welche mit den Werten, die Mc. Farland aus Stockwells neueren Formeln abgeleitet hat, vortrefflich stimmen, bis auf nahe 100 000 Jahre vor und nach Christi Geburt in der vorstehenden Tabelle

mit, in welcher als Fundamentalebene für die Neigung und Länge des Knotens die Erdbahn zu Anfang des gegenwärtigen Jahrhunderts angenommen ist.

Man sieht aus dieser Tabelle, daß etwa 100 000 Jahre vor unserer Zeitrechnung die Excentricität der Erdbahn beiläufig 3 mal so groß war als gegenwärtig, daß sie aber nach 20 000 bis 30 000 Jahren nur ungefähr ein Viertel ihres jetzigen Wertes haben und innerhalb der nächsten 100 000 Jahre diesen letzteren Wert nie bedeutend übersteigen wird. Wo gegenwärtig das Perihel ist, war vor etwa 120 000 Jahren das Aphel, nach 27 000 Jahren wird abermals das Aphel, nach 80 000 Jahren aber wieder das Perihel in diese Lage kommen, u. s. f.

Ganz ähnlichen Schwankungen unterliegen die Elemente der übrigen Planeten. Die Excentricität der Jupiterbahn z. B. bewegt sich zwischen den Grenzen 0·060 und 0·026, die der Saturnbahn zwischen 0·024 und 0·013, beide innerhalb einer Periode von 70 000 Jahren und zwar so, daß die größte Excentricität des einen dieser Planeten immer mit der kleinsten des andern zu gleicher Zeit statt hat, und daß die eine wächst, während die andere abnimmt; um das Jahr 16 000 v. Chr. war die Excentricität der Jupiterbahn am kleinsten. Ebenso schwanken die aufsteigenden Knoten dieser Bahn zwischen den Längen 90° und 117°, die des Saturn zwischen 72° und 136°; der mittlere Ort beider Knoten liegt nahe in der Länge von 104°. In gleicher Weise ist die Neigung der Jupiterbahn gegen die Ekliptik immer in den Grenzen 1° 17′ und 2° 3′, die der Saturnbahn zwischen 0° 47′ und 2° 33′ enthalten. Die Perioden aber, in welchen diese Größen von einer Grenze zur andern übergehen, schließen nahe 25 000 Jahre in sich.

Die säkulären Störungen der Planeten werden übrigens ebenso wie die des Mondes erst unsere späten Nachkommen mit völliger Schärfe bestimmen können, und diese sich dann in den Stand gesetzt sehen, mit weitaus größerer Sicherheit auf die Veränderungen zurückzugehen, welche unser Planetensystem seit vielen Jahrtausenden erlitten hat und in der Folge der Zeiten noch erleiden wird.

§ 61. (Veränderlichkeit des tropischen Jahres.) Wenn man sich zwei einander schneidende Planetenbahnen auf einem Globus verzeichnet, sieht man gleichsam auf den ersten Blick, daß vermöge der Störungen der Winkel zwischen beiden sich stetig verkleinern sollte. Die Bahnebenen, in welchen die Planeten die Sonne umkreisen, besitzen aber eine ähnliche Stabilität wie die Rotationsachsen der Planeten: es wird deshalb ganz ebenso wie bei der Präzession der Nachtgleichen (vgl. § 20) die Annäherung der Bahnebenen in eine Drehung der Bahn des gestörten Planeten auf der des störenden umgesetzt, die dem Laufe des gestörten entgegengesetzt gerichtet ist. Da nun alle Planeten von West gen Ost um die Sonne gehen, wird der Knoten beider Bahnen sich in der Richtung von Ost nach West verschieben; mit anderen Worten: durch die Störungen zweier Planeten gegen einander weichen die Knoten der gestörten Bahn auf der störenden immer zurück, während die Neigungen beider Bahnen, kleine periodische Schwankungen ausgenommen, im allgemeinen als beständig betrachtet werden können.

Dies gilt von der Lage zweier Planetenbahnen gegen einander. Wenn man aber, wie es dem astronomischen Gebrauche angemessen ist, die Lage eines jeden Planeten auf eine dritte Ebene, z. B. auf die *Ekliptik* bezieht, so hat jene einfache Darstellung nicht mehr statt, indem dann der Knoten der gestörten Bahn unter Umständen längere Zeit hindurch auch vorwärts gehen, und die Neigung der Bahn gegen die Ekliptik zuweilen auch eine Zeit lang beständig zu- oder abnehmen kann. Dazu kommt noch, daß die Ekliptik selbst keine feste Ebene ist, sondern als die Ebene der Erdbahn von allen anderen Planeten in ihrer Lage am Himmel gestört wird. Nach den astronomischen Rechnungen nähert sich infolge dieser Störungen der Erde durch die Planeten die Ekliptik dem Äquator jetzt in *jedem Jahrhundert* um 48·37″, während der Durchschnittspunkt derselben mit dem Äquator, oder der *Frühlingspunkt* um die kleine Größe von 16·44″ *vorwärts* oder von West nach Ost geht. Wir haben aber bereits oben (I, § 50) gesehen, daß den Beobachtungen zufolge der Frühlingspunkt in einem Jahrhundert um 5021·13″ *rückwärts* geht, was im allgemeinen eine Folge der Anziehung der Sonne und des Mondes auf den abgeplatteten und rotierenden Erdkörper ist und dort *Präzession* genannt wurde. Da aber die Wirkung der Planeten den Frühlingspunkt in einem Jahrhundert um 16·44″ vorwärts bewegt, so beträgt die eigentliche Wirkung der Sonne und des Mondes 5037·57″, oder die *beobachtete* Präzession, nach welcher der Frühlingspunkt in jedem Jahre um 50·2113″ rückwärts geht, besteht aus zwei Teilen: vermöge des ersten oder vermöge der Einwirkung der Sonne und des Mondes auf die abgeplattete Erde geht er jährlich um 50·3757″ rückwärts, und vermöge des zweiten, der Einwirkung der Planeten auf die Erdbahn, jährlich um 0·1644″ vorwärts. Der erste Teil ist seiner Natur nach konstant und für alle Zeiten derselbe, wenn anders die mittlere Entfernung jener beiden Gestirne und die Abplattung der Erde sich nicht mit der Zeit ändert. Der zweite Teil aber hängt von der Lage und Verteilung der Planetenbahnen gegen die Erdbahn ab und ist daher veränderlich.

Diese Bemerkung hat einen wichtigen Einfluß auf die Länge des Jahres und dadurch auf unsere gesamte Zeitrechnung. Das *wahre* Jahr der Erde oder die siderische Umlaufszeit (I, § 84) derselben um die Sonne ist bei ihr, wie bei allen anderen Planeten, eine völlig unveränderliche Größe. Allein das tropische Jahr (I, § 85) oder die Umlaufszeit der Erde in Beziehung auf den Frühlingspunkt ist kürzer als das siderische Jahr, und zwar um die Zeit, welche die Erde braucht, den Bogen zu durchlaufen, der von dem Frühlingspunkte vermöge der Präzession zurückgelegt wird. Dieser Bogen enthält aber, nach dem Vorhergehenden, einen übrigens kleinen Teil, dessen Wert in verschiedenen Jahrhunderten veränderlich ist. Also ist auch die Zeit, in welcher die Sonne diesen Bogen zurücklegt und das tropische Jahr selbst eine veränderliche Größe.

In unseren Tagen z. B. beträgt der veränderliche, von den Planeten kommende

Teil der Präzession 0·1644″. Da die Sonne in einem Tage durchschnittlich 0° 59′ 8·33″ zurücklegt, so beschreibt sie diesen Bogen in 4^s, d. h. unser gegenwärtiges Jahr von 365·24220 Tagen ist um 4^s größer als das mittlere tropische Jahr. Seit Hipparch's Zeiten (140 Jahre v. Chr.) bis auf unsere Tage ist das tropische Jahr, nach welchem sich alle unsere Zeitrechnungen, unsere Kalender und selbst unsere Jahreszeiten richten, etwa um 14^s kürzer geworden.

§ 62. (Einfluß der Störungen auf die Jahreszeiten.) Die näheren Folgen der Bewegung der Apsidenlinien wurden schon oben (I, § 92) angeführt. Hier wollen wir nur noch bemerken, daß die Lage der großen Achse einer Planetenbahn, wenigstens so lange die Excentricität derselben nur gering ist, weder auf ihren eigenen noch auf die anderen Planeten irgend einen wesentlichen Einfluß äußern kann, und daß es daher im allgemeinen gleichgültig ist, nach welchem Punkte des Himmels dieselbe gerichtet, und ob, wie es in der That der Fall, die Bewegung derselben sich mit der Zeit über alle Punkte ihres Umkreises verbreitet.

Nicht so verhält es sich aber mit der Größe der Excentricität dieser elliptischen Bahnen, da von dieser die mittlere Temperatur der Oberfläche der Planeten, und namentlich auch die Größe der Variation der Jahreszeiten abhängt. Bei der Erde z. B. beträgt die Änderung der Distanz derselben von der Sonne nahe den 30sten Teil ihrer mittleren Entfernung, und die Änderung der erwärmenden Kraft der Sonne im Winter und Sommer wird demnach auf das Doppelte oder um den 15ten Teil des Ganzen steigen. Wenn daher die Excentricität der Bahn der Erde einmal sehr groß werden könnte, so würde dadurch der Unterschied der beiden jährlichen Extreme der Temperatur ebenfalls sehr beträchtlich und endlich dem Pflanzen- und Tierreiche schädlich werden können. Jetzt nämlich hängt die Verschiedenheit der Temperatur unserer Jahreszeiten beinahe ganz von der schiefen Stellung der Erdachse gegen die Ekliptik ab, nicht aber von der Entfernung der Sonne, die sogar in unserem Winter kleiner ist als im Sommer. Wenn aber die Excentricität der Erdbahn größer und z. B. die Sonne zu einer Zeit zwei- oder dreimal weiter von uns wäre als zu einer anderen, so würde die große Verschiedenheit der Entfernung der Sonne einen sehr merklichen Einfluß auf unsere Temperatur äußern. Dann würde wegen der Bewegung des Periheliums die Zeit der Sonnennähe oder die Zeit der größten Hitze nach einander alle Monate des Jahres durchlaufen, und jene beiden Hauptbedingungen der Temperatur, die schiefe Stellung der Erdachse und die Verschiedenheit der Entfernung der Sonne von der Erde, würden sich zuweilen gegenseitig aufheben oder neutralisieren, zuweilen aber auch wieder mit einander verbinden und so die Hitze des Sommers wie die Kälte des Winters ganz unerträglich machen. Dies findet jedoch nicht statt, und die Analyse zeigt, wie gesagt, daß die Excentricitäten aller Planetenbahnen sowie die Neigungen in Grenzen, und zwar in sehr enge Grenzen eingeschlossen sind, die sie nie übersteigen können. Es können daher auch nach Schiaparelli namentlich bei der Erde die Änderungen der Excentricität nicht

allein die Ursache sein der großen Temperaturschwankungen des Erdkörpers, von denen die Paläontologie uns Zeugnis giebt, wenngleich dieselben z. B. für Mailand bewirken können, daß im Laufe der Jahrtausende der Unterschied zwischen der täglichen mittleren Wärme des Sommer- und des Wintersolstitiums in gewissen Epochen bis 34° C. steigen, in anderen auf 21° herabsinken kann, während derselbe jetzt 25° beträgt.

§ 63. (Säkuläre Störungen als Mittel zur Bestimmung der Massen.) Außer den Mitteln, die wir oben (II, § 58) zur Bestimmung der Massen von mit Satelliten versehenen Planeten angegeben haben, geben die Störungen, welche die Planeten überhaupt von einander erleiden, wie ebenfalls bereits erwähnt (II, § 76), noch einen anderen Weg, die Massen derselben zu ermitteln. Nach dem Gesetze der allgemeinen Schwere (§ 21) verhält sich die Anziehung jedes Körpers wie seine Masse, dividiert durch das Quadrat der Entfernung desselben von dem angezogenen Körper. Wie mannigfaltig daher auch diese Attraktion eines Planeten auf den anderen durch äußere Umstände modifiziert werden mag, immer wird die eigentliche Größe dieser Anziehung von der Masse des anziehenden Planeten abhängen, oder immer wird der analytische Ausdruck der Störung, welche ein Planet auf den anderen ausübt, die Masse des störenden Planeten als Faktor enthalten. Wird nun mit der Zeit die Größe dieser Störung durch unmittelbare Beobachtung sehr genau bestimmt, so wird man diesen numerischen Ausdruck jenem analytischen Ausdrucke derselben gleich setzen und aus der so gewonnenen Gleichung die Masse des störenden Planeten als die einzige unbekannte Größe berechnen können. Dieses Verfahren läßt sich natürlich nicht nur bei den säkulären, sondern auch bei den periodischen Störungen der Planeten immer dort mit Nutzen anwenden, wo die Störungen groß genug sind, um durch die Beobachtungen mit Schärfe aufgefaßt zu werden. Auf diese Weise hat man z. B. in den neueren Zeiten die Masse Jupiters durch die Störungen, welche er auf einige Asteroiden, die sich ihm bedeutend nähern können, ausübt, ebenso scharf bestimmt, als es früher durch die Beobachtung der Satelliten dieses Planeten möglich war.

Kapitel VII.

Ursprung und Dauer des Weltsystems.

§ 64. (Ältere Geogonien). Die Erde, die wir bewohnen, und selbst das ganze Sonnensystem, das uns von allen Seiten umgiebt, ist ohne Zweifel nicht immer in dem Zustande gewesen, in dem wir es jetzt erblicken. Wie alles, was wir um und selbst in uns bemerken, verschiedene Stufen seiner Ausbildung durchgeht, bis es den höchsten Gipfel derselben erreicht, von welchem es dann wieder allmählich zurückschreitet und einer, wenigstens scheinbaren Vernichtung, einer

gänzlichen Umformung seines Wesens entgegengeht, so kann auch wohl der gegenwärtige Zustand unseres Sonnensystems nur eine der vielen Wandlungen sein, die dasselbe durchzugehen hat, um den ihm von der Natur gesetzten Zweck zu erreichen.

Es kann nicht unsere Absicht sein, die Stufenleiter aller dieser vergangenen und künftigen Metamorphosen zu verfolgen, da deren nächste Sprossen schon so weit von uns abliegen, daß ein Unternehmen solcher Art für den menschlichen Geist nicht nur verwegen, sondern ganz unmöglich erscheint. Dessenungeachtet können wir es uns kaum versagen, wenigstens einige Blicke rückwärts in die dunkle Nacht, aus der alles, was wir um uns sehen, aus der wir selbst hervorgegangen, zu werfen, und daselbst einige lichte Punkte aufzusuchen, die vielleicht dazu dienen können, unseren eigenen und den Stammbaum des großen Hauses, dem wir angehören, wenn auch nicht bis zu seinen Wurzeln, doch bis zu den uns zunächst umgebenden Stellen etwas näher kennen zu lernen. Dieser Wunsch hat eine Unzahl von Hypothesen über die Entstehung der Erde hervorgerufen, von denen wir zunächst, wenn auch nur der Kuriosität wegen, einige der älteren aufführen wollen.

Leibniz stellte die Ansicht auf, daß alle Planeten und Kometen, die Erde nicht ausgenommen, in der Vorzeit eben so viele wahre Sonnen gewesen seien, die, nachdem sie älter geworden, ihre frühere jugendliche Kraft und mit ihr auch ihr selbständiges Licht verloren haben.

Nach Whiston war die Erde anfangs ein Komet, aber ohne Achsendrehung, daher auch ohne Bewohner, ein toter Klotz, der sich indes doch um die Sonne bewegte. Nach vielen Millionen von Jahren stieß er zufällig mit einem andern Kometen zusammen, wodurch er anfing, sich um seine Achse zu drehen. Der Wechsel des Tages und der Nacht, der dadurch auf der Erde entstand, lockte Pflanzen und Tiere auf ihre Oberfläche hervor. Jahrtausende durch dauerte auf derselben eine paradiesische Zeit, die unser Gelehrter mit nicht minder lebhaften Farben schildert als die darauf folgende Periode einer allgemeinen Verderbnis, die endlich so sehr überhand genommen hatte, daß es eines neuen Kometen bedurfte, um das ganze verruchte Geschlecht in seinem Wasser zu ersäufen. Seitdem geht es, wie wir alle wissen, stark bergab, und so steht in kurzem ein vierter und letzter Komet zu erwarten, der aber nach Whiston weder so stößig wie der zweite, noch auch so wässrig wie der dritte, sondern der vielmehr ganz feuriger Natur sein und die arme Erde mit allem, was in und auf ihr ist, zu Staub und Asche verbrennen wird. Das Werk Whiston's, in welchem er uns diese Dinge zum besten giebt, wurde bei seinem Erscheinen als eines der höchsten Produkte des menschlichen Scharfsinnes bewundert und von Klein und Groß mit einer Begierde gelesen, deren sich wohl nicht leicht ein anderer Roman bisher zu erfreuen das Glück gehabt hatte.

Cartesius ließ die von jeher existierende chaotische harte Urmasse in Stücke

zerspringen, die sich sofort in wirbelnde Bewegung versetzten, woraus endlich Sonne, Mond und Planeten herausgewirbelt wurden. Lazzaro Moro wurde durch die Entstehung des Monte nuovo bei Neapel i. J. 1538 auf eine neue Schöpfungsgeschichte geführt, in welcher das Centralfeuer die Hauptrolle spielt; Pallas hingegen leitete die Entstehung der Welt ohne Hilfe des Feuers aus dem Wasser des Urmeeres ab. Marschall von Bieberstein glaubte, daß die Planeten und ihre Monde bloße Konglomerate von Meteorsteinen, also desselben Ursprunges mit unseren sogenannten Sternschnuppen seien, eine Ansicht, die in neuerer Zeit wieder mehrfach aufgenommen wurde, von Silberschlag, Scheuchzer, Wrede, Lamarck, Hutton u. A.

Auch Buffon, der Plinius unserer Tage, versuchte seine Kraft an diesem interessanten Gegenstande. Nach ihm war im Anfange aller Dinge bloß die Sonne und eine Unzahl von Kometen da, welche letztere in allen möglichen Richtungen um die erste schwärmten. Einige von diesen Kometen kamen mit der Zeit der Sonne näher als es ihnen vielleicht selbst lieb sein mochte. Da geschah von zwei Dingen eines: entweder begegnete der Komet der Sonne beinahe in einer auf die letzte senkrechten Richtung, und dann blieb er an der Sonne hängen, um ihre Masse zu vermehren und den Verlust zu ersetzen, den sie durch das Ausströmen ihres Lichtes erleidet, oder der Komet begegnete der Sonne nur in schiefer Richtung, er streifte bloß die Oberfläche derselben und riß daher ein größeres oder kleineres Stück von ihr ab. Dieses Stück der, wie Buffon meint, flüssigen Sonne schleppte der Komet in Form eines Baches, eines Wasserschweifes hinter sich her, und dieser Strom trennte sich in mehrere Teile in verschiedene größere und kleinere Kugeln, die je nach ihrer Entfernung von der Sonne, in welcher sie entstanden, eine verschiedene Geschwindigkeit um diese Sonne und auch zugleich eine Rotation um ihre eigene Achse hatten. Auf diese Weise sind also die Planeten, und auf eine ganz ähnliche sind auch die Satelliten dieser Planeten entstanden.

Da man zu Buffon's Zeiten die Hypothese Whiston's schon wieder vergessen hatte, so wurde diese neue Darstellung des großen französischen Naturforschers sehr lange als die beste, ja als die einzig wahre allgemein angenommen. Dazu trug eben sowohl der blühende Stil, mit welchem Buffon seine Dichtung auszustatten wußte, als auch die verwegene Sicherheit bei, mit welcher er den Gegenstand bis in das kleinste Detail verfolgte und seine Träume als Resultate von Berechnungen hinstellte.

Eine besondere Auffassung dieses Gegenstandes hatte Franklin. Zum besseren Verständnisse seiner Idee müssen wir uns des bereits früher (I, 104) erwähnten Gay Lussac-Mariotteschen Gesetzes erinnern, nach welcher unsere atmosphärische Luft, wenn sie zusammengedrückt wird, an Dichtigkeit gerade so zunimmt wie das Gewicht, durch welches der Druck bewirkt wird, so daß also ein doppelter oder dreifacher Druck auch die Luft zwei- oder dreimal so dicht

macht. Da nun Franklin unsere Luft noch für ein permanentes Gas, d. h. für ein solches hielt, das durch keinen auch noch so hohen Druck in flüssigen Zustand übergeführt werden könne, glaubte er, es müsse sich die Luft endlich so stark zusammendrücken lassen, daß selbst Gold auf ihr schwimmen würde. Denkt man sich, dies vorausgesetzt, eine senkrechte, oben offene Höhle im Innern der Erde, und nimmt man an, daß das Mariottesche Gesetz für jeden Druck und für jede Dichte der Luft gelte, so müßte die Luft in der Höhle immer dichter werden, je tiefer sie läge, und bei einer Tiefe unter der Oberfläche der Erde von 50 km würde das Wasser, von 80 das Zinn, von 85 das Silber, und von 90 km das Gold auf ihr schwimmen.

Nun geht Franklin weiter von dem Gedanken aus, daß die Zerstörungen, die wir auf der Erde bemerken, zu groß sind, als daß sie hätten entstehen können, wenn die ganze Erde, auch in unseren gegenwärtigen Zeiten, eine durchaus solide Masse wäre. Er meint also, sie bestehe in ihrem Innern aus einer Luft, die dichter ist als alle festen Körper, die wir auf der Erde kennen, so daß diese auf ihr schwimmen. In dieser Luft lagern sich alle Körper, die entweder in sie geraten, oder die aus ihr selbst und ihren ursprünglichen heterogenen Bestandteilen entstehen, jeder in eine bestimmte Entfernung von dem Mittelpunkte der Erde und, wenn ihrer mehrere in gleichen Entfernungen von demselben zusammenkommen, bilden sie eine Art harte Kruste, eine Rinde oder Kugelschale, welche die innere, noch dichtere Luft ringsum einschließt.

Nimmt man also mit Franklin an, daß alle Materien mit ihren Kräften anfänglich wie ein Dunst durch den Weltraum verbreitet gewesen sind, so mußten sich, wenn die Anziehung der einzelnen Teile dieser Materie zu wirken anfing, die schweren Dunstteilchen dem Mittelpunkte mehr nähern, und zugleich immer dichter werden, je mehr sie sich anhäuften. Auf diese Weise konnte die erwähnte Luftkugel entstanden sein, in welcher sich die übrigen Körper auf die angegebene Art festsetzten. Viele dieser Körper, die anfangs zu tief in dieselbe durch ihren Fall eingesunken waren, stiegen nachher wieder auf, schlossen sich an die übrigen an und bildeten endlich die Kruste, die Oberfläche der Erde, die wir bewohnen, und die jetzt so tief in die ganze Luftkugel eingesenkt ist, daß bloß unsere gegenwärtige Atmosphäre darüber noch hervorsteht. Chemische Prozesse, Gasentwickelungen, Explosionen von Dämpfen, die unter dieser Kruste in der so stark verdichteten Luft statthaben, werden sie an einzelnen Stellen durchbrechen, wodurch sich die neptunischen und vulkanischen Revolutionen erklären, die unsere Erde schon so oft erlitten zu haben scheint, oder sie werden, wenn sie jene Kruste nicht zerbrechen können, in der unteren Luft Wellen verursachen, die sich auf Tausende von Meilen erstrecken und uns als Erdbeben fühlbar sein werden.

§ 65. (Besondere Eigenschaften des Planetensystems.) Nach diesem Rückblicke auf ältere Geogonien wollen wir zusehen, welche Grundlagen die heutige Wissenschaft für solche Betrachtungen bietet.

Obschon die Elemente des Sonnensystems, wie es scheint, ganz willkürlich sind, so haben sie doch mehrere sehr merkwürdige Eigenheiten, die allen Planeten gemeinschaftlich sind, und die daher auch eine besondere Beachtung verdienen. Man bemerkt z. B. nicht ohne Verwunderung, daß sich alle Planeten ohne Ausnahme in einer und derselben Richtung, von West nach Ost bewegen. Auch die Satelliten gehen im allgemeinen in derselben Richtung um ihre Hauptplaneten. Ja, selbst die uns bisher bekannten täglichen Umdrehungen dieser Körper gehen sämtlich von West nach Ost vor sich, nämlich die von 5 Planeten, der Sonne selbst, unserm Monde, sowie dem Ringe Saturns, was zusammen ein paar hundert Bewegungen giebt, die alle nach derselben Seite gerichtet sind, wenn man sich der in gleicher Richtung erfolgenden Revolution der vielen Asteroiden erinnert.

Eine andere, nicht minder auffallende Eigenschaft unseres Sonnensystems ist die geringe Excentricität, die wir bei den 8 großen Planeten bemerken; von den Asteroiden fügen sich viele demselben Verhältnisse, während andere bereits eine etwas größere, aber doch noch lange nicht eine so große Excentricität haben wie die Kometenbahnen. Überhaupt sind die Bahnen der Planeten und die der Kometen durch die zwei eben besprochenen Eigenschaften wesentlich von einander unterschieden. Von den Planeten kennt man, wie gesagt, keinen, dessen Bewegung nicht von West gen Ost gerichtet wäre, wohl aber zahlreiche Kometen, die sich von Ost gen West bewegen.

Dasselbe gilt endlich auch von den Neigungen dieser Bahnen gegen die Ekliptik, welche bei allen großen Planeten ungemein klein und selbst bei den meisten kleinen noch immer sehr gering sind, während im Gegenteile die Neigungen der Kometenbahnen alle möglichen Werte durchlaufen.

Dies sind aber offenbar Erscheinungen ganz anderer Art als diejenigen, welche wir bisher beobachtet haben. Die Bewegungen der Planeten in ihren Bahnen, ja selbst die sogenannten Störungen, welche sie erleiden, sind eine bloße Folge des Gesetzes der allgemeinen Schwere und lassen sich auch aus diesem vollkommen erklären. Allein die drei Erscheinungen, von welchen hier die Rede ist, sind in keinem weiteren Zusammenhange mit jenem Gesetze und müssen daher aus einer anderen Quelle abgeleitet werden. Denn, welches auch dieses Gesetz der Schwere sein mag, so wird sich doch ein ihm unterworfener Planet eben so gut von West gen Ost als umgekehrt um die Sonne bewegen können. Wenn daher alle ohne Ausnahme nur in einer und derselben Richtung sich bewegen, so kann die Ursache davon nicht in jenem Gesetze, sondern sie muß in der primitiven Einrichtung des Systems, in einer Anordnung gesucht werden, die zur Zeit seiner Entstehung eingetreten ist. Die Richtung der Bewegung eines Planeten, die Neigung der Ebene seiner Bahn, die größere oder kleinere Excentricität dieser Bahn — dies sind gleichsam die willkürlichen Größen des Systems, mit denen die Natur nach Zwecken verfügt hat, von welchen es uns vielleicht gegönnt ist, einige aufzufinden.

§ 66. (Kant-Laplace'sche Hypothese.) Diese drei, allen Planeten zukommenden Eigenschaften: die jährliche und tägliche Bewegung von West gen Ost, die geringe Excentricität und die ebenfalls sehr kleine Neigung ihrer Bahnen haben Kant und Laplace zum Ausgangspunkte genommen, um den Ursprung des Planetensystems zu erklären, wie wir sogleich näher sehen wollen.

Welches auch die Ursache, die jene drei Erscheinungen erzeugte, gewesen sein mag, so muß sie doch offenbar alle Planeten umfaßt haben, und da diese letzten durch so große Zwischenräume von einander getrennt sind, so kann sie nur in einer, anfänglich vielleicht bloß luftförmigen Flüssigkeit von ungeheurer Ausdehnung gesucht werden. Da sie allen Planeten eine beinahe kreisförmige Bewegung in einer und derselben Richtung um die Sonne gegeben hat, so wird diese Flüssigkeit die Sonne in Gestalt einer Atmosphäre umgeben haben. Diese Atmosphäre der Sonne, die vielleicht ursprünglich nur eine Fortsetzung des eigenen Sonnenkörpers war, hatte also anfänglich wahrscheinlich durch die Wirkung einer in ihr herrschenden außerordentlichen Hitze eine Ausdehnung, die noch weit über die Bahn des Neptun hinausreichte, und die sich späterhin infolge ihrer Abkühlung bis auf die gegenwärtige Grenze der Sonne zurückgezogen hat.

Damals glich also unsere Sonne einem Nebelsterne, einem großen Lichtkerne, umgeben von einer sphärischen Dunsthülle. Vor dieser Zeit mag selbst jener lichte Kern noch nicht dagewesen sein und das Ganze bloß einem äußerst dünnen, weit verbreiteten chaotischen Nebel geglichen haben.

Wenn jener lichte Kern, der Embryo der künftigen Sonne, durch irgend eine Kraft, wozu schon die Anziehung der benachbarten Körper außer der Sonnenatmosphäre hinreichend war, eine Bewegung, eine Rotation um sich selbst hatte, so mußte an dieser Rotation auch die ganze Atmosphäre der Sonne allmählich teilnehmen. Als nun die anfangs so große Hitze aus den oberen Schichten dieser Atmosphäre entfloh, fand eine Trennung der Atmosphäre in einzelne Schichten statt, deren Bestandteile sich wie zuvor so auch jetzt noch um die Sonne bewegten. War ferner irgendwo in diesen Schichten eine dichtere Masse vorhanden, so zog diese nach und nach die benachbarten Teile an sich, rundete ihre Masse zur Kugelform ab, und die Planeten entstanden. Man sieht, daß bei einer solchen Entstehung dieser Körper die Richtung der Bewegung derselben um die Sonne mit derjenigen übereinstimmen mußte, welche die Sonne selbst hatte, daß also dadurch die gemeinschaftliche jährliche Bewegung der Planeten von West gen Ost sehr gut erklärt wird.

Da ferner die von der Sonne entfernteren Teile eines auf diese Weise entstandenen Planeten wegen der Rotation des ganzen Sonnenkörpers eine größere Geschwindigkeit hatten als die dem Kern näheren Teile, so ergab sich hieraus auch eine Rotation dieser Planeten in der Richtung ihrer jährlichen Bewegung, wodurch auch die gemeinschaftliche Richtung der täglichen Rotation der Planeten sich auf eine sehr einfache Weise erklärt.

Die Planeten, die aus der Verdichtung der benachbarten Teile einer Schicht der Sonnenatmosphäre entstanden, werden anfangs, wo die ihrem Innern zukommende Temperatur noch immer sehr hoch war, einen viel größeren Raum eingenommen und sich, wie oben die Sonnenatmosphäre selbst, durch allmähliche Abkühlung zu einem dichteren Kern mit einer eigenen Dunsthülle ausgebildet haben, wo dann die Abkühlung der äußersten Schicht dieser Planetenatmosphäre ganz auf dieselbe Art die Satelliten erzeugen konnte, wie die Planeten selbst aus der Sonnenatmosphäre erzeugt wurden.

Bei der Absonderung der sich allmählich abkühlenden Schichten von der übrigen, inneren Atmosphäre der Sonne wurde die Masse, aus welcher diese Schichten bestanden, durch die Rotation der Sonne gegen den Äquator derselben hin getrieben, wodurch es sich erklärt, daß die Neigungen der Planetenbahnen gegen die Ebene dieses Äquators beinahe sämtlich sehr klein sind.

Wenn sich die äußerste Kugelschale der Sonnenatmosphäre in Gestalt einer bereits mehr erkalteten, aber immer noch sehr warmen Flüssigkeit durch die Rotation des Sonnenkörpers auf eine für alle Teile dieser Schicht gleichmäßige Art zu dem Äquator herabsenkt, ohne sich in einzelne Partieen zu trennen, und wenn auch die Konglomeration der Masse dieser Schicht um ihren neuen Kern mit ungestörter Regelmäßigkeit vor sich geht, so wird ein flüssiger, später durch weitere Abkühlung sich konsolidierender Ring um diesen Kern entstehen. Aber die Regelmäßigkeit, die zur Bildung eines solchen Ringes notwendig ist, wird eine Erscheinung dieser Art immer sehr selten machen, daher wir auch in unserem ganzen Sonnensysteme nur ein einziges Beispiel eines solchen Ringes, bei Saturn, antreffen. In den meisten Fällen wird der Ring schon in den ersten Zeiten seiner Bildung in mehrere abgesonderte Massen bersten, die dann für sich, als die Satelliten des neuen Planeten, ihren Weg um denselben zurücklegen.

Dieselbe Regelmäßigkeit der Bildung der Planeten würde, wenn sie in der That stattgehabt hätte, die Planeten vollkommen in die Ebene des Sonnenäquators und die Satelliten genau in die Ebene der Äquatoren ihrer Hauptplaneten gelegt haben, sowie sie auch die Bahnen aller dieser Körper zu vollkommenen Kreisen gemacht haben würde. Jede kleine Störung dieser Regelmäßigkeiten wird aber Veränderungen in den Neigungen sowohl als auch in den Excentricitäten dieser Bahnen hervorbringen, und es scheint, daß diese Störungen nie groß genug gewesen sind, um das eine oder das andere dieser beiden Elemente zu stark von seinem ursprünglichen Zustande zu entfernen, daher wir die Neigungen sowohl als auch die Excentricitäten beinahe aller Planetenbahnen in so enge Grenzen eingeschlossen finden.

Wir wollen hier noch eines sehr interessanten Versuches Erwähnung thun, welcher zuerst von Plateau in Gent angestellt und nachher von Faraday wiederholt wurde, und der ganz geeignet scheint, den Ursprung unseres Sonnensystems zu versinnlichen. Wenn man ein Glas mit einer Mischung von Wasser

und Alkohol füllt und eine kleine Quantität Olivenöl dazu giebt, das mit der Mischung genau gleiche Dichte hat, so ist das Öl als eine von der Wirkung der Schwere freie Flüssigkeit zu betrachten, welche demnach in jede ihr von anderen Kräften gegebene Gestalt einzugehen vermag. In der That nimmt das Öl sofort infolge der Molekularanziehung die Kugelform an. Führt man nun durch das Glas eine vertikale Achse ein, welche eine kleine Scheibe trägt, deren Mittelpunkt mit dem der Ölkugel zusammenfällt, so kann man jene Achse in Bewegung setzen und dadurch die Ölkugel zum Rotieren bringen. Sofort flacht sie sich an ihren Polen ab und schwillt am Äquator an, so daß man im kleinen Maßstabe die Wirkungen vor sich sieht, denen die Planeten ausgesetzt waren. Die Kugelform wird zwar in beiden Fällen durch verschiedene Kräfte, durch Molekularanziehung beim Öle und durch Gravitation beim Planeten erzeugt, aber die Resultate sind analog, wenn nicht identisch. Je schneller die Rotation wird, desto größer wird die Abplattung. Kommen endlich 2 bis 3 Drehungen auf die Sekunde, so wird die Ölmasse an der Achse oben und unten hohl, indem sie sich immer weiter in horizontaler Richtung ausdehnt; endlich verläßt sie die Scheibe und erscheint als ein völlig regelmäßiger Ring. Anfangs hängt dieser Ring mit der Scheibe durch ein dünnes Ölhäutchen zusammen; hält man aber die Scheibe fest, so bricht dies Häutchen und der Ring erscheint vollkommen frei. Bald darauf verliert derselbe seine Bewegung und wird wieder zur Kugel. Setzt man aber die Drehung nach der Trennung des Ringes mittelst einer kleineren Scheibe fort, so erzeugt sich in der Alkohol-Mischung eine drehende Bewegung und mit ihr eine Centrifugalkraft; der Ölring wird so verhindert, seine frühere Kugelform wieder anzunehmen und teilt sich in mehrere isolierte Massen, deren jede sofort in Kugelform erscheint. Alle diese Massen rotieren in derselben Richtung, in welcher der Ring sich bewegte. Ja, noch mehr: da der Ring im Augenblicke seiner Teilung immer noch eine gewisse Geschwindigkeit hatte, so streben die Kügelchen, sich in der Richtung der Tangente zu entfernen, und da die sich drehende Scheibe zugleich der Mischung eine rotatorische Bewegung erteilt, so werden die Kügelchen alle von dieser Bewegung ergriffen und kreisen eine Weile um die Scheibe, sodaß sie nun gleich Planeten rotieren und revolvieren.

Bei dieser Darstellung des Ursprungs unseres Planetensystems ist, wie man sieht, auf die Kometen keine Rücksicht genommen, weil Laplace sie nicht für Ureinwohner unseres Sonnensystems hielt, sondern als Fremdlinge betrachtete, die bloß einmal in das Innere desselben eindringen und dann wieder in den weiten Weltraum, aus dem sie kamen, zurückkehren. Die Modifikationen, welche diese Ansicht durch die Forschungen der Neuzeit erhalten hat, haben wir bereits an einem anderen Orte (II, § 171) ausführlicher erörtert.

So schön und sinnreich diese Hypothese der Entstehung unseres Sonnensystems auch erscheint, so kann sie doch nur mit demjenigen Mißtrauen vor-

getragen werden, dem alles ausgesetzt bleiben muß, was nicht unmittelbar Resultat einer strengen Berechnung ist. Sie setzt voraus, daß die Masse, aus welcher unser Planetensystem entstanden ist, anfänglich in einem gasförmigen Zustande gewesen sei, der durch fortschreitende Abkühlung zunächst in einen flüssigen überging. Dies ist allerdings sehr wahrscheinlich, wie für die Erde schon oben § 28 gezeigt wurde, und für den Mond läßt sich, wie wir § 58 gesehen haben, die Gleichheit seiner Revolution und Rotation ebenfalls nicht wohl anders erklären, als wenn wir die Masse desselben zur Zeit seiner Entstehung flüssig annehmen. Auch die merkwürdigen Verhältnisse, welche zwischen den Umlaufszeiten und den mittleren Längen der Satelliten Jupiters und Saturns stattfinden (II, § 124, 129), müssen ihren Ursprung in einer ähnlichen Ursache haben. Wenn nämlich diese Verhältnisse zur Zeit der Entstehung der Satelliten nicht ganz genau eintraten, was äußerst unwahrscheinlich ist; wenn diese Längen und Umlaufszeiten auch nur beiläufig das gegenwärtige Verhältnis hatten, so reichte, wenn anders die Masse dieser Satelliten ursprünglich flüssig war, die bloße Anziehung ihres mächtigen Hauptplaneten schon hin, durch die Verlängerung der gegen diesen Planeten gerichteten Monddurchmesser jene Verhältnisse in ihrer ganzen Strenge herzustellen und zu erhalten.

Einer der schwerwiegendsten Einwürfe gegen die Laplace'sche Hypothese wird aus dem Umstande hergeleitet, daß das Verhältnis der Dichtigkeiten der Planeten und der Sonne sich nicht gut mit ihr vereinigen läßt. Zwar sind die Dichten der Planeten: Merkur, Venus, Erde und Mars einander nahe gleich und viel größer als die der übrigen, die wieder eine gewisse Übereinstimmung unter einander zeigen; aber eine regelmäßige Abnahme der Dichten mit der größeren Entfernung von der Sonne, wie man sie nach dieser Hypothese vermuten sollte, findet nicht statt.

Ein anderer Einwurf, der gegen diese Hypothese auch hin und wieder erhoben wurde, ist viel weniger belangreich. Er lautet dahin, daß man aus derselben nicht folgern könne, warum die sich von der Sonne allmählich absondernden Teile die Kraft des Selbstleuchtens verloren haben, die dem übrigen Teile der Sonne, so wie wir sie jetzt sehen, noch beiwohnt. Darauf läßt sich nämlich einfach antworten, daß die Sonne, wie wir wissen, ihre Leuchtkraft der hohen Temperatur verdankt, in der sie sich auch jetzt noch befindet, während die Planeten, als so viel kleinere Körper, den Abkühlungsprozeß, dem alle Gestirne unseres Systems unterliegen (§ 30), weit rascher als sie durchmachen mußten.

Laplace hat sich übrigens auf die Frage, wie die Sonne entstanden sei, nicht eingelassen und seine Betrachtungen erst da begonnen, wo von der Bildung der Planeten zu handeln war. Ein Mann, auf den unser deutsches Vaterland stolz zu sein mehr als Eine Ursache hat, Kant, lieferte schon um die Mitte des achtzehnten Jahrhunderts in seiner Schrift: „Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels" eine Hypothese über die Entstehung des

Weltalls, bei welcher er von ganz ähnlichen Prinzipien, wie später Laplace, ausging, aber nicht wie dieser erst mit der Sonne begann, sondern nach dem Uranfange aller Himmelskörper fragte. Kant's Theorien bilden so eine merkwürdige Ergänzung der Laplace'schen Hypothese, und wenn sie auch, da es zu Kant's Zeiten noch an unserer Kenntnis der physischen Beschaffenheit der Himmelskörper sehr gebrach, in dem Teile, welcher sich auf die Bildung der Planetenwelt bezieht, hinter den Laplace'schen Ideen zurückblieb, so begegnen sich doch beide auch hier in so wesentlichen Punkten, daß man es nicht unterlassen darf, Kant's zu gedenken, wenn man von dem ersten gelungenen Versuche einer Kosmogonie spricht; denn ihm muß unstreitig die Priorität der leitenden Ideen und an sich die vollständigste Durchführung derselben zugesprochen werden.

§ 67. (Allgemeine Bemerkungen über die Dauer des Weltsystems.) Wir haben in unserem Sonnensysteme mehrere Eigenschaften entdeckt, die uns in den Stand setzen, auf den Zustand desselben in einer Epoche, von welcher der Anfang unserer Menschengeschichte ohne Zweifel sehr weit entfernt ist, wenigstens mit einiger Wahrscheinlichkeit zurückzuschließen. Sollte es nicht auch einige andere Eigenheiten dieses Systems geben, die uns Mittel darbieten, das Schicksal desselben in der dunklen Zukunft wenigstens so weit zu entschleiern, um daraus einige Beruhigung für die fernere Dauer dieses großen und wunderbaren Gebäudes abzuleiten? Wenn auch wir selbst und alles, was mit uns auf dieser Erde lebt, wieder zu dem Staube zurückkehren müssen, von dem wir genommen sind, und wenn wir uns willig in dieses allen lebenden Wesen gemeinsame Loos ergeben, so können wir doch den Wunsch nicht unterdrücken, daß nach unserem Abtreten von diesem Schauplatze andere Wesen in immer fortgehender Reihe auf derselben Bühne sich ihres Lebens freuen, daß der Himmel, der jetzt über uns ausgespannt ist, bleiben und bestehen, und daß dieselbe Sonne und derselbe Mond, die uns in unserem Leben oft so freundlich geleuchtet haben, auch noch die Blumen bescheinen mögen, die dermaleinst über unseren Gräbern blühen sollen.

Man sieht ohne unser Erinnern, daß bei Untersuchungen dieser Art nicht von Katastrophen die Rede sein kann, die durch unvorherzusehende, äußere Kräfte bewirkt werden. Vielleicht wird einst dieses ganze System, wie jener Fixstern in der Kassiopeja, durch irgend eine uns unbekannte Ursache in Brand geraten und auflodern, sodaß von allem, was uns jetzt umgiebt, keine Spur mehr zu finden ist. Solche Katastrophen stehen in keinem weiteren Zusammenhange mit einer in der Folge der Zeiten auf natürlichem Wege notwendigen oder vorauszuberechnenden Zerstörung, die hier allein gemeint sein kann. Daß ein Mensch vom Blitze getötet wird, kann keinen Einfluß auf die kürzere oder längere Dauer des ganzen Geschlechtes haben. Aber daß alle Menschen und überhaupt alle lebenden Wesen immerwährenden Reibungen und Abnutzungen ihrer Körper unterworfen sind, dies läßt uns einen endlichen Stillstand der Menschheit befürchten. Und

jene große bewundernswürdige Maschine über uns — trägt sie ebenfalls solche Spuren, aus denen wir, wenn auch in der fernsten Zukunft, auf ihren Stillstand, auf ihre Auflösung schließen können?

Wenn wir die Frage so stellen, so müssen wir vor allem Anderen die Störungen näher ins Auge fassen, welchen die einzelnen Körper unseres Sonnensystems unterworfen sind. Wir haben aber bereits oben (§ 46) gesehen, daß diese zweierlei Art sind: periodische, welche bloß den Ort des Planeten in seiner Bahn angehen, und säkuläre, welche diese Bahn selbst mit der Zeit verändern. Die ersten können offenbar keinen Einfluß auf eine einstige Zerstörung des Ganzen haben, die zweiten aber könnten es und würden es auch, wenn anders diese Änderungen der Bahnen mit der Zeit, also ohne Ende und immer nach derselben Richtung fortgingen. Wir haben nun zwar bereits wiederholt hervorgehoben, daß dies nicht der Fall sei, sondern daß auch die säkulären Störungen innerhalb gewisser Perioden eingeschlossen sind. Da indes diese Sache von großer Tragweite ist, so wird es nicht unangemessen sein, sie etwas näher zu betrachten.

Es ist schon früher (I, § 82) gesagt worden, daß jede Bahn eines Planeten oder Kometen 6 Bestimmungsstücke oder Elemente hat, an denen man sie erkennen und von allen anderen unterscheiden kann. Diese Elemente sind: 1) die große Achse oder die Umlaufszeit, 2) die Excentricität, 3) die Neigung der Bahn, 4) die Länge des Periheliums, 5) die Länge des Knotens und 6) die Epoche oder der Ort des Planeten in seiner Bahn zu einer gegebenen Zeit.

Es wird nicht notwendig sein, hier umständlich zu zeigen, daß die 3 letzten der 6 Elemente in Beziehung auf die längere Dauer des Systems ganz gleichgültig und ohne allen Einfluß sind. Ob die große Achse nach dieser oder nach einer anderen Gegend des Himmels gerichtet ist, ob die Planetenbahn die Ebene der Ekliptik in dieser oder in einer anderen Linie schneidet, das kann die Stabilität im allgemeinen ebensowenig stören, als dieselbe von dem Orte des Planeten in seiner Bahn zu irgend einer Zeit abhängt.

Nicht so ist es aber mit den erstgenannten 3 Elementen. Die große Achse darf durchaus keiner stets in demselben Sinne fortschreitenden Änderung unterworfen sein, weil vermöge eines immerwährenden Wachsens oder Abnehmens derselben der Planet entweder aus dem Systeme sich entfernen oder in die Sonne stürzen müßte. Aber auch die Änderungen der beiden anderen Elemente der Excentricität und der Neigung der Bahn müssen in bestimmte Grenzen eingeschlossen sein, wenn sie das System in die Länge nicht gefährden sollen. Wenn z. B. die Excentricität der Erdbahn mit der Zeit immer größer, oder wenn diese Bahn selbst immer ovaler werden, oder wenn der Mond in seinem Laufe der Erde immer näher kommen sollte, so würde in dem ersten Falle, wie wir (§ 62) gesehen haben, unser Jahr seinen Charakter in Beziehung auf die Temperatur gänzlich ändern und in dem zweiten Falle der Mond endlich auf die Erde stürzen

müssen. Wenn die Excentricität der anderen Planetenbahnen ähnlichen Veränderungen unterworfen wäre, so würden mehrere von ihnen der Erde einmal sehr nahe kommen, die Fluten des Meeres würden von Zeit zu Zeit die ganze Erde überschwemmen, und die am Ende unvermeidliche Kollision unserer Erde mit einem der anderen Himmelskörper würde alle Organisation auf beiden und vielleicht beide Körper selbst zerstören.

§ 68. (Unveränderlichkeit der großen Achsen der Planetenbahnen.) Wir haben soeben erörtert, daß es für die Stabilität unseres Sonnensystems von der höchsten Wichtigkeit ist, daß die 3 Elemente: halbe große Achse, Excentricität und Neigung der Bahn keine weitgreifenden Störungen erleiden. Was nun zunächst die halbe große Achse der Bahn oder die sogenannte mittlere Entfernung eines Planeten von der Sonne betrifft, hat Laplace 1773 die später durch Lagrange, Poisson, Radau und Tisserand völlig sichergestellte hochwichtige Entdeckung gemacht, daß, wenn man in dem durch die Rechnung gegebenen allgemeinen analytischen Ausdruck der säkulären Störungen der großen Achse eines Planeten diejenigen Zahlen substituiert, welche den einzelnen Planeten zukommen, alle Glieder dieses Ausdrucks sich aufheben, woraus folgt, daß diese große Achse selbst durch die Einwirkung der anderen Planeten keine derartigen Störungen erleidet, oder daß sie und unter allen Elementen der Bahn sie allein unveränderlich ist. Diesen für die Erhaltung ihres Werkes unerläßlichen Umstand hat die Natur durch eine Einrichtung erzielt, die auf den ersten Blick ebenso geringfügig als zufällig erscheint.

Die Umlaufszeiten aller Planetenbahnen sind unter sich inkommensurabel, d. h. es giebt auch nicht zwei solcher Umlaufszeiten, die sich zu einander genau wie zwei ganze Zahlen verhalten. Dies ist das Geheimnis, dies ist der feine Faden, an welchen die Natur die Dauer des Planetensystems geknüpft hat.

Die Umlaufszeit Jupiters z. B. beträgt nahe 4 333 und die des Saturn 10 759 Tage, und diese beiden Zahlen verhalten sich beinahe wie 2 zu 5. Wenn sie sich aber genau wie 2 zu 5 verhielten, wenn z. B. die erste 4 312 und die zweite 10 780 Tage betrüge, so würde daraus eine immer weitergehende Änderung der Achsen dieser beiden Planetenbahnen entstehen; die eine derselben würde zu- und die andere abnehmen, und die Folge davon würde eine endliche Zerstörung dieser beiden größten Planeten unseres Sonnensystems sein. In der That hat auch schon der Umstand, daß diese beiden Umlaufszeiten sich nur beinahe wie die Zahlen 2 und 5 verhalten, die Folge, daß diese beiden Planeten von einander eine viel größere Störung, die bei Saturn bis auf 49′ geht, erleiden, als man bei allen anderen Planeten findet, und diese Störung würde noch viel größer sein, wenn jenes Verhältnis dem der Zahlen 2 und 5 noch näher wäre. Wir haben bereits oben (§ 52) von den aus dieser Quelle entspringenden großen Störungen dieser beiden Planeten gesprochen und gezeigt, daß sie in bestimmte Grenzen eingeschlossen sind, zwischen welchen sie während einer Periode von 930 Jahren auf- und niedergehen. Je näher die Umlaufs-

zeiten dieser Planeten jenen Verhältnissen kämen, desto mehr würden sich diese Grenzen sowohl, als auch die Dauer dieser Periode erweitern, bis endlich die Zügel, welche die beiden größten Himmelskörper unseres Systems in ihren Bahnen gehalten haben, nachgeben und das Ganze seinem unvermeidlichen Untergange entgegeneilen müßte.

§ 69. (Die Änderungen der Excentricitäten und Neigungen der Planetenbahnen sind in enge Grenzen eingeschlossen.) Die analytische Entwickelung der *säkulären* Störungen, welchen die 3 Elemente: Länge des Perihels, Länge des aufsteigenden Knotens und Epoche unterworfen sind, führt auf Reihen, die ein Glied enthalten, welches mit der Zeit fortwährend wächst. Vermöge dieses Gliedes können sie durch alle Punkte der Peripherie des Kreises wandern, und thun dieses auch, doch, wie schon oben gesagt, ohne Gefahr für die Stabilität des ganzen Systems.

Anders hingegen verhält es sich mit den säkulären Störungen der beiden noch übrigen Elemente: *Excentricität* und *Neigung*. Zwischen den Ausdrücken für dieselben bestehen nämlich, wie *Laplace*, jener große Geometer, dem wir so viele schöne Entdeckungen in diesen höheren Gefilden der Sternkunde verdanken, gefunden hat, zwei Bedingungsgleichungen, deren Grund wir zwar hier nicht näher angeben können, die aber zu wichtig und zu interessant sind, um ganz übergangen zu werden.

Man denke sich von irgend einem Planeten, z. B. von Merkur, das Produkt der Masse dieses Planeten, in das Quadrat seiner Excentricität und die Quadratwurzel seiner großen Achse. Nennt man dieses Produkt für Merkur a, für Venus a′, für die Erde a″ u. s. w., so zeigen jene Rechnungen, daß die Summe der Größen a, a′, a″ . . für alle Zeiten eine konstante oder unveränderliche Größe darstellt. Nun ist die Masse eines jeden Planeten, wenn man die Sonnenmasse als Einheit annimmt, sowie auch das Quadrat der Excentricität, wenn man die halbe große Achse der Bahn als Einheit voraussetzt, den Beobachtungen gemäß bei allen Planeten eine sehr kleine Größe, also muß auch jede der Größen a, a′, a″ . . und daher auch deren Summe eine sehr kleine Größe sein. Allein da diese für alle Zeiten unveränderlich, also immer eine sehr geringe Größe ist, so müssen auch die einzelnen Glieder a, a′, a″ . . jener Summe immer sehr klein sein und bleiben. Die Glieder bestehen aber aus den Massen und den halben Achsen der Bahnen, die, wie bereits bekannt, immer dieselben bleiben, und endlich aus den Excentricitäten der Bahnen, welche letztere daher ebenfalls immer sehr klein bleiben müssen — *vorausgesetzt* nämlich, daß alle jene Glieder a, a′, a″ . . gleichbezeichnet sind. Wenn auch nur eines derselben ein anderes Zeichen erhielte, so würden die obigen Schlüsse offenbar nicht mehr angewendet werden dürfen. Dann würden nämlich zwei dieser Glieder ohne Anstand ins Unendliche zunehmen und ihre Summe doch noch eine sehr kleine Größe bleiben können, wenn nur das eine dieser Glieder positiv und das andere negativ wäre. Allein dieser Fall kann in unserem Planetensystem nie eintreten,

weil die Bewegungen aller Planeten durchaus nach derselben Richtung vor sich gehen. In diesem Falle muß man nämlich von den beiden Zeichen, die jeder Quadratwurzel, also auch der oben erwähnten Wurzel der großen Achse, eigen sind, in allen Gliedern a, a′, a″ . . immer dasselbe nehmen.

Einen ganz ähnlichen Ausdruck erhält man auch für die Neigungen der Bahnen gegen die Ekliptik. Nennt man nämlich wieder b das Produkt der Masse eines Planeten in das Quadrat der Tangente der Neigung und in die Quadratwurzel der großen Achse der Bahn, und bezeichnet man für einen zweiten Planeten dasselbe Produkt durch b′, für einen dritten durch b″ u. s. w., so zeigt die Analyse, daß auch die Summe der Größen b, b′, b″ . . in unserem Systeme eine für alle Zeiten unveränderliche Größe ist. Diese Größe ist aber jetzt den Beobachtungen gemäß sehr klein, also muß nicht nur sie, sondern auch jeder einzelne Summand immerfort sehr klein bleiben, das letztere wieder deshalb, weil die Bewegungen der Planeten alle nach derselben Seite gerichtet sind und infolgedessen wieder die Größen b, b′, b″ . . alle mit demselben Zeichen genommen werden müssen.

Da also die Änderungen der Excentricitäten und Neigungen der Planetenbahnen in bestimmte enge Grenzen eingeschlossen und die großen Bahnachsen überhaupt unveränderlich sind, und da es vorzüglich die Beständigkeit dieser 3 Elemente ist, von welcher die Erhaltung unseres Systems und die ungestörte Ordnung desselben für die Folgezeit abhängt, ist demselben das Siegel einer immerwährenden Dauer aufgedrückt. Dies ist hauptsächlich durch zwei, auf den ersten Blick nur geringfügig scheinende Mittel erreicht, indem die großen Achsen oder, was dasselbe ist, die Umlaufszeiten der Planeten inkommensurable Zahlen (§ 68) sind, und indem die Bewegungen der Planeten alle nach derselben Seite um die Sonne erfolgen.

§ 70. (Weitere Gründe für die Stabilität des Sonnensystems.) Eine andere, schon der geringsten Aufmerksamkeit auffallende Einrichtung des Planetensystems hat dieselbe Wirkung. Der Sonnenstaat ist, wie schon früher bemerkt wurde, nicht nur in seinem Ganzen, sondern selbst in den einzelnen Teilen desselben wesentlich monarchisch geordnet. Die Sonne, der Mittelpunkt der Bewegungen der Planeten, überwiegt alle diese Planeten zusammengenommen an Masse, d. h. an eigener intensiver Stärke mehr als 700mal, und eine ähnliche Präponderanz bemerken wir auch bei allen Hauptplaneten in Beziehung auf ihre Satelliten. Die Masse der Erde ist 80mal größer als die des Mondes und die Masse Jupiters übertrifft die aller seiner Monde sogar gegen 6000mal. Die daraus folgenden mächtigen Anziehungen der Sonne auf die Planeten und der Hauptplaneten auf ihre Satelliten lassen keine so beträchtlichen Störungen in diesem Staate aufkommen, daß man eine Zerrüttung oder auch nur eine größere Unordnung des Ganzen besorgen könnte. Wenn z. B. Jupiter plötzlich aus diesem Systeme ausschiede, so würden seine Monde, die wir jetzt in so schöner Ordnung um ihn

gehen sehen, sich sofort in dem Raume zerstreuen, und der eine in Ellipsen um die Sonne gehen, der andere etwa in hyperbolischen Bahnen sich von derselben entfernen. Aber das Dasein mächtiger, alle anderen so weit überwiegender Kräfte ist ein wesentlicher Schutz für ein System, das in allen seinen Teilen beisammenbleiben und in der Regelmäßigkeit seiner Bewegungen nicht wesentlich gestört werden soll.

Selbst auf unserer Erde bemerken wir ähnliche Bürgschaften für Bestand und Dauer. Dahin gehört vorzüglich die (§ 26) Stabilität der Pole auf der Oberfläche der Erde und das durch die Beobachtungen so vieler Jahrtausende bestätigte Gleichgewicht der Meere, die einen so großen Teil dieser Erde bedecken. Diese beiden Erscheinungen, die zur Erhaltung organischer Wesen unumgänglich notwendig sind, können als ein einfaches Resultat der Rotation der Erde, verbunden mit der allgemeinen Schwere aller Körper, betrachtet werden. Denn durch jene Rotation wurde die Erde an ihren Polen abgeplattet, und durch diese Abplattung ist die Rotationsachse der Erde eine freie (§ 20) und invariable Achse geworden. Durch die Wirkung der allgemeinen Schwere aber mußte die Erdmasse gegen ihren Mittelpunkt viel dichter werden, als in der Nähe ihrer Oberfläche, sodaß jetzt die mittlere Dichte der ganzen Erde die des Meerwassers weit übertrifft, was allein schon hinreicht, diese Meere selbst in stetem Gleichgewichte zu erhalten und der Wut ihrer Fluten einen Zügel anzulegen.

Eine nähere Betrachtung dieses Gegenstandes läßt uns selbst noch mehrere andere Einrichtungen entdecken, die, da sie der Rechnung nicht unterworfen werden können, mehr das Gepräge des Zufalls tragen, während sie vielleicht in der That zu demselben Zwecke dienen. So haben von den älteren Planeten Merkur und Mars die größte Excentricität, aber auch die kleinsten Massen, und von den kleinen Planeten sind die Excentricitäten zwar groß, aber auch die Massen äußerst gering. Wenn Jupiter, der größte aller Planeten, eine solche Excentricität seiner Bahn hätte wie Juno oder Pallas, so würde es um die Stabilität unseres Sonnensystems sehr schlimm stehen. Die Erde und andere kleinere Planeten würden durch die äußerst ungleichen Attraktionen Jupiters ihre jetzt nahe kreisförmigen Bahnen in sehr langgedehnte Ellipsen verwandeln und entweder in die Sonne stürzen oder auch in von ihr immer weiter entfernte Gegenden des Himmels sich verlieren. Noch viel auffallender endlich erscheint diese Verbindung großer Excentricitäten mit sehr kleinen Massen bei den Kometen, die, wenn sie mit beträchtlicheren Massen versehen wären, bei ihrer großen Anzahl und der Ungebundenheit ihrer Bewegungen nach allen Richtungen des Himmels nicht anders als zerstörend auf unser Sonnensystem einwirken müßten.

In Bezug auf die Asteroidenbahnen ist zu bemerken, daß nach den Untersuchungen von Le Verrier auch bei diesen die Neigungen und Excentricitäten

durch die Störungen von Seite der übrigen Planeten nur geringe Änderungen erfahren können: sie werden also auch in der Folgezeit ähnliche Werte, wie sie heute besitzen, beibehalten. Dies gilt jedoch nur für mittlere Entfernungen von der Sonne, die größer sind, als die große Achse der Marsbahn. Für einen Asteroiden, der zwischen Mars und der doppelten mittleren Entfernung der Erde von der Sonne läge, gäbe es keine Stabilität in dem Sinne des Wortes, wie es in der Mechanik des Himmels gebraucht wird. Medusa und Sita*), diejenigen unter ihnen, welche die kleinste mittlere Entfernung von der Sonne besitzen, haben doch eine halbe große Achse = 2·18 Halbachsen der Erdbahn, und es ist höchst bemerkenswert, daß man Asteroiden bis fast an die durch die Theorie angezeigte Grenze der Stabilität hin gefunden hat, diesseits derselben aber keinen. Da nun dieselbe Ursache, welche zur Bildung jener großen Zahl von Asteroiden jenseits der mittleren Entfernung 2 Veranlassung gab, deren wohl auch diesseits dieser Grenze viele verteilt haben dürfte, so kann man nur annehmen, daß diese inzwischen das Sonnensystem verlassen haben.

§ 71. (Notwendige Beschränkung der vorhergehenden Betrachtungen.) Schon die allgemeine Verbreitung des Lichts in dem Weltraume zeigt, daß er nicht ganz leer sein kann, sondern daß er mit einer, wenngleich äußerst feinen Materie erfüllt sein muß. Bei den kompakten Körpern der Planeten ist uns zwar der Widerstand, welchen ein solches Mittel ihrer Bewegung entgegensetzt, noch nicht bemerklich geworden, und selbst bei den so viel loser gefügten Kometen gelang es bisher nicht, ähnliche Wirkungen sicher nachzuweisen. Man kann aber durch Rechnung zeigen, daß infolge eines solchen widerstehenden Mittels die große Achse, also auch die Umlaufszeit um die Sonne immer kleiner werden und daß daher der Körper selbst endlich in die Sonne stürzen muß. Wenn Jupiter während eines Zeitraumes von einer Million Jahren den milliardsten Teil seiner Geschwindigkeit gewinnen könnte, so würde er erst in 70 Millionen Jahren den tausendsten Teil gewonnen haben, und es würde eine noch 700mal längere Zeit erfordert werden, die ursprüngliche Geschwindigkeit dieses Planeten auf das Doppelte derselben zu bringen. Aber, so groß auch diese Perioden erscheinen, die Folge davon würde doch eine immerwährende Annäherung und endlich ein Herabstürzen dieses Planeten in die Sonne sein. Ebenso würde also auch im Laufe der Zeiten nach Millionen von Jahren die Umlaufszeit der Erde nur mehr die Hälfte oder ein noch kleinerer Teil der gegenwärtigen sein, und endlich würden auch die Erde sowie alle Planeten wieder zu der Sonne zurückkehren, von der sie genommen worden sind.

Wenn daher die oben erwähnten merkwürdigen Verhältnisse der Natur uns über die fernere Dauer ihres Werkes vollkommen beruhigen können und wenn,

*) Die mittlere Entfernung der Brucia wird zwar noch etwas geringer zu 2·16 angegeben: diese Angabe verdient aber, da der Planet seit der ersten Erscheinung nicht wiedergefunden und in dieser nur ungenügend beobachtet wurde, kein Vertrauen.

wie wir gesehen haben, wenigstens das Innere dieses Systems keine Spur von einer künftigen Zerstörung an sich trägt, so ist doch eine auch noch so lange noch immer keine ewige Dauer. Wir können uns nicht vermessen, die innere Beschaffenheit des Weltalls auch nur mit einiger Vollständigkeit zu erforschen. Aber wir sehen, daß allen Dingen dieser Erde nur eine oft sehr kurze Periode ihres Daseins angewiesen ist, nach welcher sie alle verschwinden und, wenigstens in dieser Gestalt, nicht mehr wiederkommen. Jeder Winter zerstört die schönen Gebilde unserer Fluren. Zahlreiche Familien und ganze Geschlechter von Tieren sind bis auf die letzten Reste derselben vergangen, und selbst ganze Völkerschaften, weltbeherrschende Nationen ziehen an uns vorüber wie Bilder eines Schattenspieles, und alles, alles, was uns hier unten umgiebt, wird von dem Strome der Zeit fortgerissen und eilt unaufhaltsam seinem Endzustande der Auflösung und Zerstörung entgegen. Unser Wohnort ist mit den Ruinen und mit dem Staube von Pflanzen und Tieren der Vorwelt bedeckt, und es wird eine Zeit kommen, wo man über die Pyramiden, über die Hauptstädte Europas wie jetzt über Babylon und Karthago hingehen und kaum eine Spur derselben erblicken wird.

Von diesem, wie es scheint, nicht minder allgemeinen Gesetze der Natur, dessen zerstörende Wirkungen uns von allen Seiten in der Nähe umgeben, soll die Erde und der über sie ausgespannte Himmel eine Ausnahme machen? Welches Recht hätten sie zu solchen Ansprüchen? Oder welches Recht haben wir, selbst nur von gestern her und morgen schon nicht mehr, die ewige Existenz dieses unseres Wohnortes zu fordern? Haben wir nicht Sterne am Himmel verschwinden und ganze Sonnensysteme daselbst auflodern sehen? Schreckliche Schauspiele fürwahr, gegen die unsere Wasserfluten und Erdbeben und der Tod von Tausenden in einer Stunde nicht in Betracht kommen. Aber, so groß uns auch eine Katastrophe dieser Art erscheinen mag, sie scheint uns nur so groß, weil wir selbst so klein sind. In jenen Höhen wird mit einem anderen Maß gemessen, und unser Planetensystem, ja unsere Milchstraße selbst, was ist sie anders als ein unmerklicher Punkt der ganzen großen, endlosen Welt!

Wenn daher dieser, schon gegen das übrige Planetensystem gleichsam verschwindende Punkt, wenn diese unsere Erde gleich den Früchten ihrer Fluren auch allmählich ihrer Bestimmung entgegenreifen und altern, wenn sie vielleicht von denselben Kräften, die sie erzeugt und so lange erhalten haben, auch einmal wieder zerstört werden sollte, — wollen wir uns dagegen auflehnen? Sind wir denn nicht uns selbst und alles das Unsrige, diese Erde selbst nicht ausgenommen, den Elementen schuldig? Wenn diese nun wieder aufwachen und das Ihrige zurückfordern; wenn Feuer und Wasser und Winde, die unsere Erde bewohnt und fruchtbar gemacht haben, in ihrem Laufe fortschreiten und sie auch wieder zu zerstören beginnen; wenn die Sonne, die uns so lange erleuchtet und erwärmt hat, die alles Lebende so viele Jahrtausende auferzog und an goldenen

Seilen um ihr erfreuendes Antlitz lenkte, wenn sie die alternde Erde, die sich nicht mehr zu erhalten vermag, nun endlich wieder herabzieht in ihren brennenden Schoß, ja wenn sie selbst, die Königin unserer Tage, wenn auch sie ihre Zeit gelebt und ihre Bestimmung erfüllt hat, wenn endlich auch sie erlischt und verschwindet aus der Reihe der Weltkörper, so entsetzlich dies auch uns scheinen mag — was geschähe dann anders, als was eben geschehen muß?

Denn überall, wo wir im Raume Entstehen, Wachstum und Zunahme bemerken, da muß auch Abnahme und Tod sein, und wo immer im Wechsel der Dinge Fortgang ist, da ist auch Untergang, scheinbarer Untergang wenigstens, Abwechslung von Gestalten und Formen. Alles, was Körper, d. h. was vergänglich ist, eilt seiner Auflösung entgegen und kann von keiner Kraft davon zurückgehalten werden. Und wie auf den Gipfeln unserer Berge und in den Abgründen der Erde die Versteinerungen und Überreste der Pflanzen und Tiere einer längst verschwundenen Vorwelt zerstreut liegen, so werden auch dereinst die morschen Trümmer des großen himmlischen Baues über uns zerstreut werden. Diese Sonne, diese Sterne werden erlöschen, und von ihnen wird dort oben, wie von den Denkmälern der Vorzeit hier unten, keine Spur mehr sein. Auch diese Blumen des Himmels werden verblühen und abfallen wie welke Blätter, mit denen die Winde spielen, und dieselbe Welle, die sie so lange getragen hat, wird sie dereinst auch herabziehen in die Tiefe des Weltenmeeres, in den Abgrund der ewigen Nacht, um einem neuen Tage Platz zu machen.

Vierte Abteilung.

Beobachtende Astronomie

oder

Beschreibung und Gebrauch der astronomischen Instrumente.

§. 1. (Vorbemerkungen.) Wir haben bisher das Vorzüglichste von demjenigen erörtert, was uns die Astronomen von den Körpern des Himmels und von den Bewegungen derselben kennen lehrten, und unsere Leser werden, wie wir glauben, öfter den Wunsch gehegt haben, etwas näheres über die Mittel zu erfahren, deren sich die Astronomen bedienten, um zu allen diesen Kenntnissen zu gelangen. In dieser Beziehung ist zunächst hervorzuheben, daß all' unser Wissen auf Beobachtungen beruht, indem von ihnen allein alles ausgehen muß, was uns zur Kenntnis der Dinge außer uns, was uns zur Kenntnis der Natur führen soll.

Die Genauigkeit und Schärfe unserer Beobachtungen kann aber bekanntlich durch zweckmäßig eingerichtete Instrumente wesentlich erhöht werden. In welch' hohem Maße dies speziell auch für die Sternkunde gilt, möge vorerst mit ein paar Worten erläutert werden.

Die wichtigste Aufgabe des Astronomen besteht in der Beobachtung und Messung von Winkeldistanzen zwischen himmlichen Objekten, was heutzutage mit der Genauigkeit von Bogensekunden möglich ist. Unsere Vorgänger im Altertume hingegen, sowohl die Griechen in der alexandrinischen Schule als auch die Araber, konnten, so viel Fleiß und Mühe sie auch auf ihre oft sehr großen und kostbaren Instrumente verwendeten, doch Fehler von 10 Minuten und mehr in ihren Beobachtungen nicht vermeiden, und sie mußten mit diesen Fehlern zufrieden sein, da sie, mit unbewaffneten Augen, am Himmel eben nicht mehr oder nicht genauer sehen konnten als an ihren Instrumenten. Was würde es ihnen auch genützt haben, an den letzten selbst die einzelnen Sekunden noch mit Genauigkeit zu lesen, während sie am Himmel Winkel von mehreren Minuten nicht mehr unterscheiden konnten?

Allein alles dies änderte sich, sobald das Fernrohr und das mit ihm so nahe verwandte Mikroskop erfunden war, und sobald man auf die glückliche Idee geriet, diese beiden wunderbaren optischen Werkzeuge mit den astronomischen Instrumenten in eine unmittelbare Verbindung zu bringen. Diese Erfindung, eine der schönsten und nützlichsten, deren der menschliche Geist sich rühmen kann, erweiterte unsere Kenntnis der sichtbaren Welt zu beiden Grenzen derselben beinahe ins Unendliche und brachte Gegenstände, die uns zuvor durch ihre zu große Entfernung oder auch durch ihre Kleinheit unsichtbar geblieben waren, in den Bereich unserer Sinne und dadurch in den Kreis unserer Beobachtungen. Besonders aber war es in der Astronomie, daß diese Erfindung eine für alle Zeiten merkwürdige Epoche begründete. Fortan konnte man an dem gestirnten Himmel Winkel von einer oder doch von einigen wenigen Sekunden deutlich unterscheiden, während man zugleich durch das Mikroskop auf der Oberfläche der astronomischen Instrumente dieselben kleinen Winkel genau zu messen vermochte. Jetzt erst drängte sich daher auch das Bedürfnis auf, diese Instrumente so einzurichten und sie so genau einzuteilen, daß man auf ihnen diese kleinen, früher ganz unerkennbaren Winkel mit Sicherheit zu bestimmen imstande wäre. Jeder Fehler in dieser Einteilung, jede Unvollkommenheit in der Ausarbeitung dieser Instrumente, auch jene kleinen, welche unsere Vorgänger nicht bemerken konnten, wurden jetzt fühlbar und wirkten störend auf die Beobachtungen ein. Die geringste Unsicherheit der Hand des Künstlers, der diese Instrumente verfertigen sollte, jede noch so kleine Unvollkommenheit der Werkzeuge, deren er sich dabei bediente, mußte sie schon unbrauchbar machen, da sie jene Genauigkeit, welche der vorgerückte Zustand der Wissenschaft fordert, nicht mehr gewährten. Es ergab sich also jetzt zunächst die Schwierigkeit, daß die Verfertiger astronomischer Instrumente lange Zeit hindurch mit den Bedürfnissen der Wissenschaft nicht gleichen Schritt halten konnten. Es erscheint wohl anfangs als etwas sehr leichtes, auf der Drehbank ein Stück Metall kreisförmig abzudrehen, die Peripherie desselben in 360 gleiche Intervalle und jedes derselben wieder in eine Anzahl kleinerer, unter sich ebenfalls gleicher Intervalle einzuteilen, dann das Ganze in seinem Mittelpunkte aufzustellen und in irgend einer geforderten Lage zu befestigen. Allein die praktische Ausführung dieser Aufgaben gehört zu den schwierigsten der gesamten Mechanik, wie sich schon daraus schließen läßt, daß man, aller Bemühungen und aller darauf verwendeten Kosten ungeachtet, doch erst in der zweiten Hälfte des vergangenen achtzehnten Jahrhunderts zu einer befriedigenden Lösung derselben gelangte. Es lohnt daher wohl der Mühe, die dabei obwaltenden Schwierigkeiten etwas näher zu betrachten.

Wenn die Peripherie eines Kreises in einzelne Sekunden geteilt werden soll, so muß sie 1 296 000 feine Striche oder Punkte erhalten, deren Abstände unter einander alle gleich groß sind. Bei einem Kreise von 1 m Durchmesser — und größere werden aus guten Gründen nie verfertigt — beträgt aber der Umfang

nur (I, § 6) 3·14159 m oder rund 3140 mm: soll er also auf Sekunden genau geteilt werden, so kämen auf jedes Millimeter etwas mehr als 400 Striche, sodaß die Entfernung je zweier von einander bloß $^1/_{400}$ mm betrüge! Eine solche Größe ist aber schon so klein, daß man sie erst mit verhältnismäßig starken Mikroskopen wahrnehmen kann, selbst ganz abgesehen von der Unmöglichkeit, Striche von der hier erforderlichen Feinheit herzustellen. Allein selbst wenn man einen solchen Kreis nur auf Minuten teilen wollte, kämen noch immer 6 bis 7 Striche auf ein Millimeter! Und welche Aufgabe wäre es, 21 600 feine Striche oder Punkte auf der Peripherie eines Kreises so anzubringen, daß keiner von ihnen um den 400sten Teil eines Millimeters versetzt ist oder außer dem für ihn bestimmten Orte steht, was nötig ist, wenn seine Lage bis auf *eine* Sekunde richtig sein soll. Ein Kunstwerk, das den hier aufgestellten Forderungen genau entspräche, ist wohl noch nie aus der Hand eines Menschen hervorgegangen und wird auch in aller Folgezeit für so gut als ganz unausführbar gehalten werden können. Auch würde ein solches Instrument, selbst wenn es durch irgend einen glücklichen Zufall einmal entstände, seiner Natur nach auf keine Dauer Anspruch machen und bereits in den nächsten Augenblicken nicht mehr sein, was es im Zustande seiner größten Vollkommenheit gewesen ist. Schon die immer wechselnden Änderungen der Temperatur der Luft, welche die Instrumente umgiebt, bringen in der Lage und Gestalt ihrer Teile Verziehungen der Metalle hervor, aus welchen diese Instrumente verfertigt wurden. Auch das eigene Gewicht dieser Teile erzeugt Biegungen und Krümmungen, die weder durch den symmetrischen Bau des Instruments, noch durch Gegengewichte vermieden werden können, so sorgfältig auch jener ausgeführt, so sinnreich auch diese angebracht sein mögen. Ja, selbst wenn es möglich wäre, diese Übel zu vermeiden oder unschädlich zu machen, welche Mittel haben wir, diese Kreise an ihrer Säule zu befestigen oder um ihre Achse zu bewegen, ohne Anwendung eines äußeren Druckes, d. h. ohne die einzelnen Teile des Instrumentes, wenn auch noch so vorsichtig, doch immer mit einer gewissen Kraft zu pressen und zu ziehen, wodurch die Gestalt und Lage derselben nicht anders als verändert werden kann?*) Dessenungeachtet haben unsere Künstler, in Verbindung mit den Astronomen, für welche sie arbeiten, Mittel gefunden, die einzelnen Sekunden auf ihren In-

*) Die nähere Bekanntschaft mit den neueren astronomischen Instrumenten hat uns gelehrt, daß man die Ideen, die man von der Festigkeit und Stabilität der uns umgebenden Körper aus dem gemeinen Leben mitgebracht hat, als ungegründete und falsche Ansichten, als wahre Vorurteile aufgeben muß. So kann man beispielsweise die massiven metallenen Säulen unserer heutigen großen Instrumente schon durch einen mäßigen Druck der Hand so weit aus ihrer Lage bringen, daß es mit Hilfe des bekannten Fühlhebels leicht sichtbar gemacht werden kann. Es sind daher selbst solide Metallsäulen von mehreren Centimetern Durchmesser nicht mehr als rigide Körper, sondern nur als biegsame Stangen anzusehen, die schon einem Drucke der Fingerspitzen nachgeben! Mit dem eben genannten Fühlhebel kann man auch Biegungen, welche durch äußere Kräfte hervorgebracht werden, noch an Körpern deutlich lesen, die man sonst für ganz unbiegsam gehalten hat.

strumenten mit Sicherheit anzugeben, und seit einigen Decennien hat unsere Instrumental-Astronomie, vorzüglich durch deutsche und englische Künstler, Fortschritte gemacht, an deren Möglichkeit man vor kurzem noch verzweifeln mußte. Nicht bloß die großen Instrumente dieser Art, sondern auch die kleineren, die sich Jeder mit geringen Kosten anschaffen kann, sind mit einer Präcision, mit einer Vollendung gearbeitet, die wohl nur wenig mehr zu wünschen übrig läßt. Nur wenig — aber nicht nichts! Denn am Ende ist doch alles, was Menschenhände machen können, nur Menschenwerk und, so vortrefflich es uns auch erscheinen mag, noch immer unvollkommen. Der Astronom wird also darauf bedacht sein müssen, die Umstände und Verhältnisse seiner Beobachtungen zweckmäßig auszuwählen, die Fehler seines Instrumentes kennen zu lernen, um sie entweder zu umgehen oder durch Rechnung unschädlich zu machen, ferner seine Operationen mit diesen Instrumenten so zu kombinieren und die damit erhaltenen Resultate so zu behandeln, daß er daraus, soweit es von ihm abhängt, alles Unvollkommene entfernt und sich dadurch der gesuchten Wahrheit so weit nähert, als es überhaupt dem Menschen erlaubt ist, dieses nur für höhere Wesen, wie es scheint, bestimmte Gut zu erreichen.

§ 2. (Instrumente der Alten. Gnomon.) Das älteste und zugleich einfachste Instrument, welches wir kennen, ist der Gnomon, von dem wir bereits früher (I, § 23) gesprochen haben. Er besteht in einer vertikal stehenden Säule und ist vorzüglich zu Sonnenbeobachtungen bestimmt. Indem man nämlich die Länge des Schattens mißt, welchen diese von der Sonne beschienene Säule auf den horizontalen Boden wirft, auf dem sie steht, kann man daraus und aus der bekannten Länge der Säule selbst die Höhe der Sonne finden, wie an dem erwähnten Orte gezeigt wurde.

Die Alten beobachteten die Sonne am Gnomon vorzüglich zur Zeit der beiden Solstitien (I, § 21) oder im Anfange des Sommers und des Winters, wo die Sonne im Mittage am höchsten oder am tiefsten steht, um daraus die Schiefe der Ekliptik (I, § 22) abzuleiten. Wir haben bereits an dem angeführten Orte (I, § 23) die älteste derartige Beobachtung an einem Gnomon und überhaupt eine der ältesten astronomischen Beobachtungen, die auf uns gekommen sind, angeführt, die in dem Jahre 1100 v. Chr. in China gemacht wurde. Dort

Wenn man z. B. eine Kanone an ihren beiden Enden auf Stützen legt, so krümmt sich, wie der Fühlhebel zeigt, ihr nicht unterstützter mittlerer Teil durch die Wirkung der Schwere gleich einem dünnen, biegsamen Stabe zur Erde. Wird die Kanone bloß in ihrer Mitte auf eine Stütze gelegt, so sieht man dafür ihre beiden Enden sich ebenso wie bei den leichtesten Körpern gleich einem in der Mitte gehaltenen Fischbeine abwärts biegen. Ein anderes Mittel, die Veränderlichkeit der Körper zu untersuchen, geben unsere äußerst empfindlichen Wasserwagen. Legt man eine solche Wage auf die Fensterbrüstung eines Hauses, selbst auf das solideste Mauerwerk, und drückt man dann mit der Hand stark gegen die Wand des Fensters, so sieht man augenblicklich die Lage der Blase sich verändern, und wenn der Druck nachläßt, sich wiederherstellen, zum Zeichen, daß auch unsere stärkste Mauer wie jene Säule an unseren Instrumenten jedem Drucke nachgiebt.

wurde auch noch eine zweite ähnliche Beobachtung vom Griechen Pytheas erwähnt, die ebenfalls durch ihr hohes Altertum ausgezeichnet ist.

Statt bloß das Ende des Schattens zu beobachten, der wegen des ihn umgebenden Halbschattens immer schlecht begrenzt ist, wird man besser an der höchsten Spitze des Gnomons eine Metallplatte mit einer kleinen runden Öffnung anbringen, und dann die Entfernung des Fußpunktes des Gnomons von dem durch diese Öffnung auf den Boden projizierten Bilde der Sonne messen. Die alexandrinischen Griechen, unter ihnen besonders Eratosthenes, sowie auch früher schon die Ägypter und Chinesen, bedienten sich häufig dieses einfachen Instruments, auf welches sie gleichsam schon von der Natur selbst gewiesen wurden, wenn sie die abwechselnde Schattenlänge der Berge, Bäume oder Türme bemerkten.

Unter der Regierung des Kaisers Augustus wurde der große Obelisk, 117 röm. Fuß lang, den Sesostris im Jahre 967 v. Chr. in Ägypten errichten ließ, nach Rom gebracht und daselbst unter Manlius' Anleitung auf dem Marsfelde aufgestellt, um daran, wie Plinius sagt, die Bewegungen der Sonne zu beobachten; er wurde mehr als eine Art von Sonnenuhr gebraucht, um nämlich den Augenblick des wahren Mittags durch den Vorübergang des Sonnenbildes an der, am Fußboden des Gemaches hinter dem Gnomon gezogenen Meridianlinie zu erkennen. Coschu-King stellte im Jahre 1278 einen Gnomon von 13 m in Peking her und Ulug Beigh im Jahre 1430 einen andern in Samarkand von 55 m.

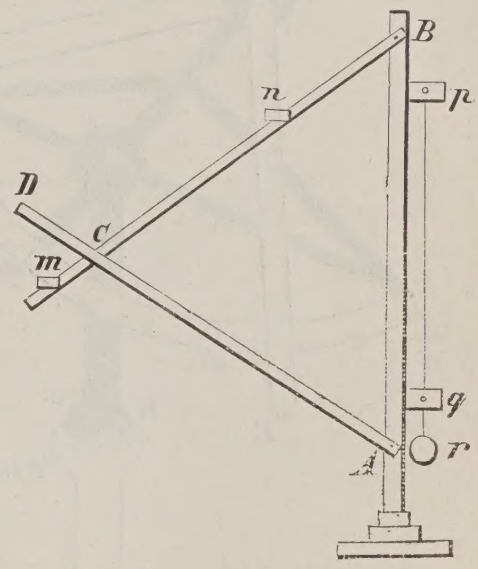
In den letzten Jahrhunderten unserer Zeitrechnung haben sich besonders die Italiener bemüht, Gnomone von bedeutender Größe zu errichten. Sie bedienten sich dazu ihrer hohen Kirchen, deren Wände sie an ihren höchsten Teilen durchbohrten, wo sie dann durch die Öffnung das Bild der Sonne auf den gegenüberliegenden Fußboden der Kirche fallen ließen. Einen solchen Gnomon errichtete Paul Toscanelli im Jahre 1467 in der berühmten Kuppel der Kathedrale zu Florenz. Die erwähnte Öffnung war in der Höhe von 90 m über dem Fußboden der Kirche angebracht. Dies ist der größte aller bisher bekannten Gnomone. Einen von 17 m konstruierte auch Gassendi im Jahre 1636 in der Kirche des Oratoriums zu Marseille; Ignazio Danti einen von 22 m in der Kirche des h. Petronius zu Bologna, der später von Cassini wiederhergestellt wurde; Bianchini erbaute in der Karthäuserkirche zu Rom (den ehemaligen Bädern des Diocletian) zwei sehr schöne Gnomone von 20 m und 24 m; Sully und Le Monnier errichteten einen von 26 m in der Kirche des h. Sulpitius zu Paris, an welchem Le Monnier viele Jahre durch die Solstitialhöhe der Sonne beobachtete und auf einer gegenüberstehenden Marmorplatte eingrub. Einer der letzten Gnomone wurde von den Astronomen Cesaris und Reggio in der Kathedrale zu Mailand im Jahre 1786 errichtet; in der neueren Zeit hat man sie aber ganz verlassen, und mit Recht, da sie lange nicht die Genauigkeit ge-

währen, welche man mit unsern andern Instrumenten erreichen kann. Die Ursache davon liegt größtenteils in der Unsicherheit der Messung der wahren Schattenlänge und in der Veränderlichkeit der Lage hoher Gebäude. Wir haben schon oben Gelegenheit gehabt, von der Leichtigkeit zu sprechen, mit welcher auch die stärksten Mauern jedem Drucke nachgeben. Aber die Wirkung der Sonne, wenn sie diese Mauern bescheint, und die Folgen des Frostes und des Wiederauftauens dieser Mauern sowohl, als auch des Bodens, auf dem sie stehen, ist noch viel bedeutender. Schon Bouguer hat darüber Beobachtungen angestellt. Er hatte in der durchbrochenen Wand des Doms der Invaliden zu Paris ein Fernrohr eingemauert, um demselben zu besonderen Untersuchungen eine, wie er glaubte, fixe und unveränderliche Stellung zu geben. Allein er bemerkte bald, daß die Lage dieses Fernrohrs sich änderte, wenn das Gebäude auf der einen oder der anderen Seite von der Sonne beschienen war. Durch eingemauerte Libellen, die nie von dem Sonnenlicht unmittelbar getroffen werden konnten, beobachteten auch die Mailänder Astronomen an dem sehr soliden Gebäude ihrer Sternwarte regelmäßige tägliche Schwankungen, die sich nach dem Stande der Sonne gegen das Gebäude richteten. Die Sternwarte Piazzi's in Palermo, der ehemalige Turm eines arabischen Emirs, war äußerst solid, und die Dicke der Wände derselben betrug gegen 2 m. Auf dieser Sternwarte beobachtete Piazzi durch mehrere Jahre den Polarstern, in der Hoffnung, in der Bewegung desselben eine jährliche Parallaxe (II, § 175) dieses Sternes zu entdecken. Er fand auch in der That Veränderungen der Lage desselben, die mit den Jahreszeiten periodisch wiederkehrten und sich mit einer parallaktischen Bewegung des Sternes nahe genug in Übereinstimmung bringen ließen, die aber, wie er später selbst bemerkte, bloß von periodischen, von der Jahreszeit abhängigen Schwankungen herrührten, denen nicht der Stern, sondern seine Sternwarte, ihrer Solidität ungeachtet, unterworfen war.

§ 3. (Instrumente der Alten: Triquetrum, Quadrant, Astrolabium, Armillen.) Die Griechen der alexandrinischen Schule bedienten sich zum Höhenmessen der Gestirne eines Instrumentes, das aus drei Linealen zusammengesetzt war, und das sie deshalb Triquetrum nannten. Es ist in Fig. 105 so abgebildet, wie es Ptolemäus in seinem Almagest beschreibt, und besteht aus einer vertikalen Säule AB, an welcher sich zwei Regeln BC und AC um Stifte auf und ab bewegen. Die Regel BC trägt zwei auf sie senkrecht gestellte Absehen m und n, deren jede mit einer kleinen Öffnung versehen ist. Man erhebt die Regel BC so lange, bis das Auge hinter m das Gestirn durch die beiden Öffnungen der Absehen erblickt, in welcher Lage von BC dann die andere Regel AC so auf BC gelegt wird, daß die Distanzen BA und BC einander gleich sind. Zu diesem Zwecke teilt man sowohl die Linie BA, als auch die ihr gleiche BC in gleiche Teile und trägt dann dieselben Teile, nur noch weiter untergeteilt, auf die dritte Regel von A nach D auf. Diesem gemäß ergiebt sich in jeder Beobachtung, durch die er-

wähnte Stellung der drei Regeln, ein gleichschenkliges Dreieck ABC, in welchem die beiden gleichen Seiten BA, BC die Halbmesser eines Kreises, dessen Mittelpunkt B, und in welchem die dritte Seite AC die Sehne des ihr gegenüberstehenden Winkels ABC vorstellt. Die Größe dieser Sehne erhält man für jede Stellung der Regeln durch eine einfache Zählung der auf der Regel AD aufgetragenen Teile von A bis C, und aus dieser Sehne AC findet man den ihr entsprechenden Winkel ABC durch eine zu diesem Zwecke eigens berechnete Tafel, welche in einem Kreise von bestimmtem Halbmesser für jeden Winkel die zu ihm gehörende Sehne giebt, ganz ebenso, wie man aus unsern Sinustafeln für jeden Winkel den ihm entsprechenden Sinus findet und denn auch in der That der Sinus eines Winkels nichts anders als die halbe Sehne eines doppelt so großen Winkels ist. Der hier gefundene Winkel ABC ist aber, wie man leicht sieht, eben die gesuchte Zenithdistanz des Gestirnes. Hat man z. B. in irgend einer Beobachtung die Länge der Sehne AC gleich 50 solcher Teile gefunden, von denen jeder der beiden Halbmesser AB und BC 60 hatte, so war die Zenithdistanz ABC des Gestirnes gleich $49^{\circ}\,15'$ und daher seine Höhe gleich $40^{\circ}\,45'$.

Fig. 105.



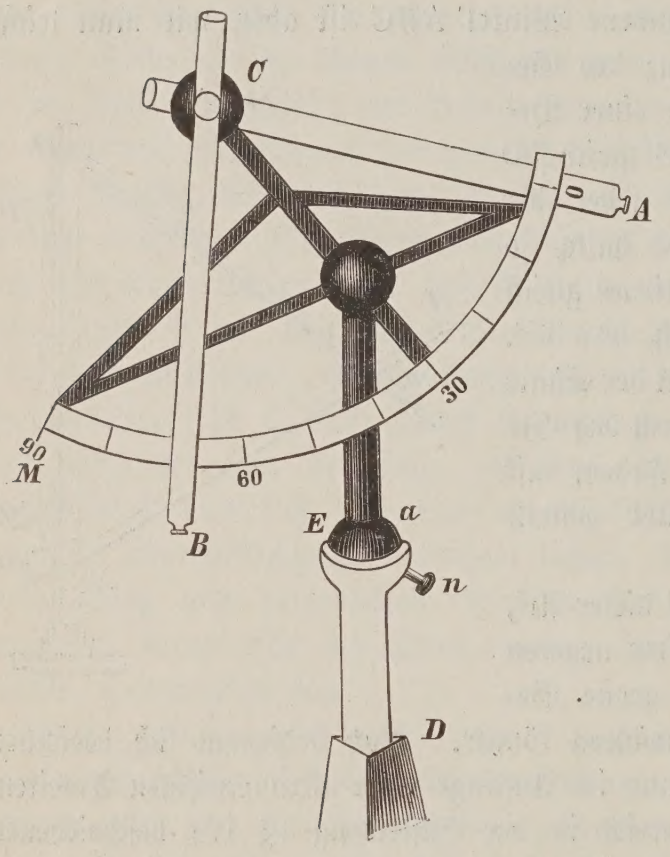
Zur Versicherung der Vertikalität der Säule AB diente ein Loth pq oder ein durch das Gewicht r gespannter, frei hängender Faden, mit dem daher die Säule AB parallel gestellt werden mußte.

Man sieht, daß ein Instrument dieser Art, selbst wenn es mit aller Sorgfalt der neueren Mechanik konstruiert würde, keine große Genauigkeit in den Beobachtungen gewähren könnte. Auch bedienten sich desselben die den Griechen folgenden Araber nur im Anfange ihrer astronomischen Arbeiten, und ersetzten es bald durch den bereits in der Einleitung (§ 19) beschriebenen Quadranten, der übrigens jetzt auch nicht mehr gebraucht wird. Wir bemerken daher über denselben hier nur noch, daß der größte Quadrant, dessen man sich je zu astronomischen Beobachtungen bediente, der des Ulug Beigh gewesen ist. Dieser berühmte Astronom (I, § 55) war gegen das Jahr 1430 Beherrscher der Länder an dem Flusse Oxus und hatte in seiner Hauptstadt Samarkand einen Quadranten von einer solchen Größe, daß der Halbmesser desselben, nach der Erzählung der türkischen Geschichtschreiber, der Höhe des Gipfels der Kuppel der Sophienkirche in Konstantinopel gleichkam, d. h. daß er 180 röm. Fuß maß.

Zur Beobachtung der Orte der Planeten am Himmel, deren ununterbrochen fortgesetzte Bestimmung ihrer Bewegung wegen besonders wichtig ist, wählten die alten Astronomen vorzugsweise die Beobachtung ihrer Distanzen von zwei

benachbarten, ihrer Lage nach bereits bekannten Fixsternen. Zu diesem Zwecke mußten sie dem Quadranten eine etwas geänderte Einrichtung geben, indem sie ihn erstens mit zwei Dioptern oder Fernrohren versahen, von welchen das eine CB (Fig. 106), wie bisher, sich um den Mittelpunkt C bewegte, während das andere in der Lage CA mit dem Quadranten fest und unveränderlich verbunden wurde. Zweitens mußte aber auch der ganze Quadrant AM auf seinem Fußgestelle nach allen Richtungen beweglich gemacht werden, was am einfachsten durch eine sogenannte Nuß bewerkstelligt werden kann. Ist nämlich auf dem oberen Teile der Säule D, welche den Quadranten trägt, ein metallener Cylinder befestigt, der an seinem obersten Ende eine halbe Kugelschale E trägt, und paßt in diese Schale eine Kugel a, welche durch die Druckschraube n in der Kugelschale befestigt wird, so kann man dem Quadranten ABM irgend eine willkürliche, auch geneigte Lage gegen den Horizont geben, wenn man die Druckschraube n öffnet, und ihn dann, wenn man sie anzieht, in dieser Lage befestigen.

Fig. 106.

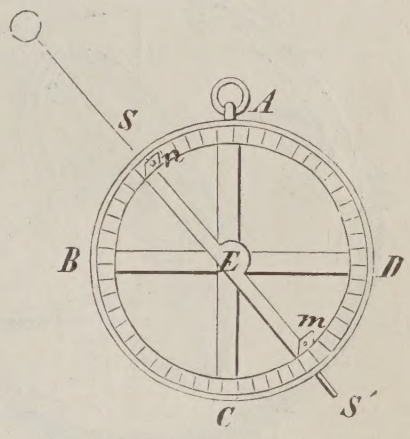


Wenn also mit einem solchen Instrumente die Distanz zweier Gestirne, z. B. die Distanz eines Planeten, dessen Ort man bestimmen will, von einem bereits bekannten Fixsterne beobachtet werden soll, so bringt man zuerst die Fläche des Quadranten in die Ebene, welche durch das Auge des Beobachters und durch jene beiden Gestirne geht, und zwar so, daß das fixe Fernrohr des Instruments auf das eine dieser beiden Gestirne gerichtet ist. In dieser Lage wird der Quadrant mittelst der Druckschraube befestigt, und nun wird auch das andere Fernrohr längs der Ebene des Quadranten so lange bewegt, bis durch dasselbe das andere Gestirn erscheint. Man sieht, daß man auf diese Weise die Distanz der beiden Gestirne auf dem Quadranten ablesen kann und daß man dieselbe am besten erhalten wird, wenn zwei Beobachter zu gleicher Zeit an dem Instrumente beschäftigt sind, von denen jeder durch eines der beiden Diopter oder Fernrohre sieht. Dieser Art, die Orte der Planeten zu bestimmen, die übrigens eine immerhin umständliche Berechnung erfordert, bedienten sich insbesondere Tycho, Hevel und selbst noch Flamsteed.

Das Astrolabium oder der astronomische Ring besteht aus einem in einzelne Grade geteilten Ringe ABCD (Fig. 107), um dessen Mittelpunkt E sich eine Alhidade (Lineal) SS' bewegt, die mit zwei darauf senkrecht stehenden durchlöcherten Absehen m und n versehen ist. Bei der Beobachtung wird es an dem kleinen Ringe A aufgehängt, wo dann der Durchmesser BD horizontal stehen soll. Wird in dieser Lage des Instruments die Alhidade SS' so gestellt, daß das Auge bei S' durch die beiden Öffnungen der Absehen das Gestirn erblickt, oder daß die Sonne durch beide Öffnungen leuchtet, so giebt der Winkel S'ED der Alhidade mit dem Halbmesser ED oder auch der jenem gleiche Winkel SEB die gesuchte Höhe des Gestirnes oder der Sonne.

Um das Instrument für den Gebrauch bequemer zu machen, ersetzte man häufig den Ring A durch ein Fußgestell, in das es bei C eingepaßt wurde, und begnügte sich statt des Vollkreises mit einem Kreisbogen von 45° oder 60°. Solche Instrumente wurden dann je nach der Länge des Kreisbogens Oktanten oder Sextanten genannt.

Fig. 107.



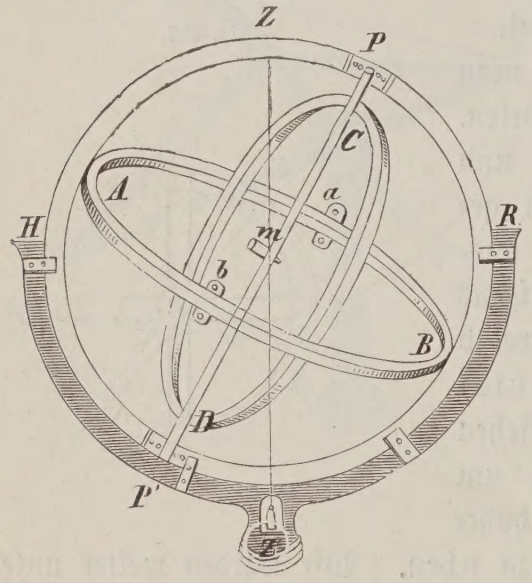
Ein Instrument dieser Art ist jedoch, wie man leicht sieht, vielen Unvollkommenheiten unterworfen. Es wurde daher auch nicht lange gebraucht und erhielt sich bloß in der Marine, wo man gewöhnlich mit einer geringeren Genauigkeit ausreicht, bis in das vorige Jahrhundert. Übrigens bezeichnete man später mit dem Namen Astrolab auch einen auf einem Fußgestelle horizontal liegenden Kreis mit einer Alhidade, deren Absehen höher sind, als die in Fig. 107 erwähnten, um durch die Öffnungen derselben die Spitzen hoher terrestrischer Objekte und selbst die Gestirne zu sehen. Wir werden weiter unten ein diesem ähnliches, aber viel vollkommener gebautes Instrument unter dem Namen Theodolit kennen lernen.

Armillarsphären oder Armillen nannte man verschiedene Verbindungen von Kreisen, durch welche man den Äquator, die Ekliptik und die darauf senkrechten Kreise darstellte, und die von Eratosthenes aus Kyrene (geb. 276 v. Chr.) erdacht sein sollen. In Fig. 108 ist ein solches Instrument abgebildet, dessen sich schon Hipparch und Ptolemäus bedienten, und an welchem Tycho Brahe den größten Teil seiner Planeten-Beobachtungen machte. Der äußere Kreis HZR stellt den Meridian vor, d. h. bei den Beobachtungen wurde dieser Kreis in den Meridian gestellt, sodaß von den Punkten H und R des Horizonts der erste nach Süd und der zweite genau nach Nord, und daß die Endpunkte P, P' der Achse nach dem Nord- und Südpole gerichtet waren. Der Faden ZZ' mit seinem Gewichte bei Z' zeigte die Zenithlinie an. Der Mittelpunkt jener Achse PP' war mit einem kleinen Cylinder m versehen, und durch ihn ging, senkrecht auf die

Achse, die Ebene des Ringes AB, die daher den Äquator vorstellte. Dieser Ring war an dem äußeren Ringe HZR fest und mit Absehen a und b versehen. Senkrecht auf die Ebene dieses Ringes AB war ein anderer, um die Achse PP' beweglicher und ebenfalls mit Absehen versehener Ring CD angebracht, der daher den Deklinations- oder Stundenkreis vorstellte. Das ganze Instrument steht auf einem festen Fußgestelle bei Z'.

Wenn man mit diesem Instrumente eine Beobachtung machen wollte, so wurde zuerst der äußere Ring HZR in den Meridian und mittelst des Lothes der Punkt Z in das Zenith, also auch P in den Nordpol des Äquators gebracht und dann der bewegliche Deklinationskreis CD so weit verschoben, bis man durch die Absehen desselben das zu beobachtende Gestirn bemerkte, wo dann der Kreis CD auf dem Äquator AB den Stundenwinkel und wo die Absehen des Kreises CD auf ihm selbst die Deklination des Gestirns anzeigten. Hatte man zuvor die Absehen a und b des Äquators mittelst eines schon bekannten Gestirns so gestellt, daß sie den Frühlings- und Herbst-Nachtgleichenpunkt bezeichneten, so konnte man auf diese Weise zugleich die Rektascension des zu beobachtenden Gestirns finden und daher auch die Sternzeit der Beobachtungen angeben.

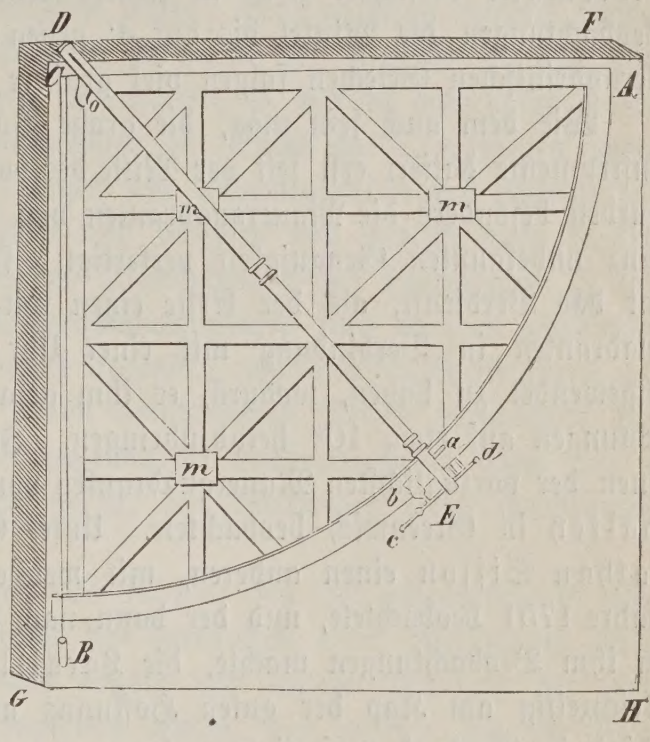
Fig. 108.



§ 4. (Mauerquadrant.) Die bisher besprochenen Instrumente konnten aber selbst bei der sorgfältigsten Ausführung nicht stabil genug gemacht und noch weniger solid genug aufgestellt werden, um eine längere Zeit hindurch ihre Lage so unverändert beizubehalten, als es bei der allmählichen Verbesserung der Fernrohre und der dadurch bedingten Verfeinerung der Beobachtungsmittel die an ihre Genauigkeit gestellten, enorm gesteigerten Anforderungen erheischten. Man suchte daher zuerst dem Quadranten, auf den man doch immer wieder zurückzukommen gleichsam gezwungen war, mehr Vollkommenheit zu geben. Da man einsah, daß man die Teilung desselben bei einem kleineren Instrumente nicht mit Genauigkeit auftragen kann und daß große Instrumente weder leicht noch sicher in sehr verschiedene Lagen gebracht und darin erhalten werden können, kam man auf die Idee, viel größere Quadranten in der Ebene des Meridians selbst fest und unveränderlich aufzustellen und daran die Gestirne zur Zeit ihrer Kulmination zu beobachten. So entstand der Mauerquadrant, der noch in den letzten Decennien des verflossenen Jahrhunderts zu den vorzüglichsten und gebräuchlichsten Instrumenten der Astronomie gehörte.

Der Mauerquadrant ABC (Fig. 109) besteht aus mehreren starken und unter einander fest verbundenen Stangen und einem Kreisbogen AB von Metall. Dort, wo die Stangen an einander gefügt sind, in den Punkten m, m, m, ist das ganze Instrument durch starke Schrauben an eine in der Ebene des Meridians errichtete Mauer befestigt. Man wird sich bei diesen Schrauben leicht eine Vorrichtung denken können, durch welche man das ganze Instrument in seiner Lage etwas ändern und dadurch genau in die Ebene des Meridians bringen und auch in dieser Ebene ein wenig rücken kann. Ein Bleilot CB, oben bei C an einem Häkchen befestigt, wird an dem untersten Teile B des eingeteilten Randes AB immer denselben Punkt bedecken, so lange die beiden äußersten Halbmesser CA und CB des Quadranten unverändert dieselbe Lage gegen den Horizont beibehalten. Schlägt der Faden auf einen andern Punkt, so wird man dieser Abweichung des Quadranten entweder Rechnung tragen oder sie auch durch die eben erwähnte Vorrichtung bei den Schrauben m, m . . verbessern können. Der Faden dieses Lotes ist durch ein ihn umgebendes Gehäuse vor Luftzug geschützt, und die zu große Beweglichkeit des Gewichts bei B wird dadurch gemindert, daß man es in einem mit Wasser gefüllten Gefäße schweben läßt. Das Fernrohr DE bewegt sich um den Mittelpunkt O des Quadranten mit der Fläche desselben parallel. Bei der Okularseite E ist es mittelst einer Schraube cd und einer doppelten Metallplatte b mit dem Rande des Instruments in Verbindung gesetzt. Diese Platte umfaßt in der Gestalt einer Gabel den Kreisbogen, und die beiden Teile derselben können durch eine eigene Schraube einander genähert werden, wodurch dann das Fernrohr fest mit dem Kreisbogen AB verbunden wird. Wenn aber diese beiden Teile der Platte von einander entfernt werden, so läßt sich das Fernrohr frei um den Mittelpunkt O auf einen willkürlichen Punkt des Quadranten drehen und daselbst mittelst der erwähnten Schraube bei b so befestigen, daß man kleine Verrückungen des Fernrohrs noch mittelst der Schraube cd hervorbringen und dadurch das Fernrohr genau auf den zu beobachtenden Stern stellen kann. Auf der jener Platte b entgegengesetzten Seite ist das Fernrohr mit einem kleinen eingeteilten Metallplättchen a oder mit dem Vernier ver-

Fig. 109.



bunden, der zur genaueren Ablesung der auf dem Kreise AB angebrachten Teilung dient, und von dem wir weiter unten sprechen werden.

Tycho ist der Erste, der ein solches Instrument gebraucht hat, das er, als sein Erfinder, Quadrans Tychonicus nannte. Da er den Halbmesser sehr groß annahm, konnte er den Rand mittelst Transversalen, wie wir weiter unten sehen werden, noch bis auf 10″ einteilen: allein trotz dieser so weit getriebenen Teilung sieht man aus seinen Beobachtungen, daß die Fehler derselben im Durchschnitte auf 1′ gehen. Seine nächsten Vorgänger, wie Walther, Regiomontan, Wilhelm IV. von Hessen u. A., die auf ihre Instrumente nicht geringe Mühe und Kosten verwendet hatten, mußten sich Fehler von 10′ gefallen lassen, und den Arabern ging es, ihrer ungeheueren Instrumente ungeachtet, nicht besser. Ptolemäus versichert zwar in seinem Almagest, daß seine und Hipparch's Beobachtungen die Winkel bis auf 4′ geben; allein aus den Beobachtungen der alexandrinischen Griechen folgen viel größere Fehler.

Wie dem auch sein mag, die große Vollkommenheit unserer astronomischen Instrumente datiert erst seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts, und unter diesen wurden besonders die Mauerquadranten von englischen Künstlern mit einer bisher ganz unbekannten Genauigkeit verfertigt. Flamsteed (geb. 1646, gest. 1719) hat das Verdienst, als der Erste einen mit einem Fernrohr versehenen Mauerquadranten in Verbindung mit einer Uhr zur Bestimmung von Sternörtern angewendet zu haben, wodurch es ihm gelang, den mittleren Fehler der Beobachtungen auf etwa 10″ herabzubringen. Im Jahre 1725 vollendete Graham einen der vorzüglichsten Mauerquadranten von 2·44 m im Halbmesser, an welchem Halley in Greenwich beobachtete. Unter Graham's Leitung verfertigte Jonathan Sisson einen anderen, mit welchem Le Monnier in Paris bis zum Jahre 1751 beobachtete, und der dann nach Berlin gebracht wurde, wo Lalande an ihm Beobachtungen machte, die Lacaille nach der getroffenen Verabredung gleichzeitig am Kap der guten Hoffnung anstellte. Der berühmte Mechaniker Bird in England verfertigte mehrere ausgezeichnete Instrumente dieser Art, eins auch von 2·44 m im Halbmesser für Greenwich — an welchem von 1750 bis 1762 Bradley seine trefflichen, auf etwa 1″ genauen Deklinationsbestimmungen machte, während er die Rektascensionen mit gleicher Präcision durch ein Mittagsrohr fand, — zwei für Oxford, ebensoviele für Petersburg, Göttingen, Cadix, Mannheim und Paris, wie denn überhaupt dieses Instrument in der Regel paarweise an Sternwarten vorkam, da es seiner Natur nach nur entweder für den südlichen oder für den nördlichen Meridian dient. Der französische Finanzminister Bergeret ließ im Jahre 1775 in England einen Mauerquadranten für die École militaire in Paris verfertigen, an dem anfangs d'Agelet viel beobachtete, bis endlich Lalande (Michel Jean Jérôme le Français), der Neffe des bekannten Astronomen (Joseph Jérôme le Français de Lalande), ihn benützte, um durch seine eifrigen und viele Jahre fortgesetzten Beobachtungen Positionen von nahe

50 000 Sternen zu geben, die im Jahre 1847 unter F. Baily's Leitung katalogisiert und veröffentlicht wurden. Kein anderes Instrument hatte bisher eine so reiche Ernte von nützlichen Beobachtungen geliefert. Ramsden, einer der ausgezeichnetsten Mechaniker, die je gelebt haben, verfertigte große Mauerquadranten für die Sternwarten in Padua, Mailand und Wilna und endlich ein ähnliches Instrument für Blenheim in England, welches sich auf einer soliden vertikalen Achse im Horizonte drehen ließ und überhaupt eines der vollkommensten Werkzeuge war, die bis dahin aus der Hand eines Künstlers hervorgegangen waren.

So vorzüglich aber auch diese Instrumente im Vergleich mit den früheren sein mochten, so ließen sie doch für die erhöhten Forderungen der neueren Astronomie noch gar manches zu wünschen übrig. War es schon äußerst schwer, wo nicht unmöglich, so große Kreisbogen in einer und derselben Ebene ohne teilweise Biegungen und Krümmungen zu erhalten, so war es auch nicht minder schwierig, das Fernrohr in allen seinen Lagen der Ebene des Quadranten genau parallel zu machen. Ebenso waren wegen der Unbeweglichkeit des Instruments die Rektifikationen desselben beschwerlich und unsicher und endlich diese Instrumente selbst eben wegen ihrer Größe den Einwirkungen der Temperatur zu sehr ausgesetzt. Die höheren Teile des Observationszimmers sind nämlich gewöhnlich wärmer als die näher an dem Fußboden liegenden, wodurch das Instrument oben mehr als unten und überhaupt in seinen verschiedenen Teilen verschieden ausgedehnt wird, was auf die damit angestellten Beobachtungen einen um so nachteiligeren Einfluß hat, je schwerer es ist, den Wirkungen dieser Ausdehnung Rechnung zu tragen.

Alle diese Nachteile wurden aber erst fühlbar seit der allgemeineren Verbreitung und weiteren Vervollkommnung des Fernrohrs, eines Werkzeuges, durch welches unser edelster Sinn wunderbar erhöht und unsere Kenntnis der Erde und des Himmels auf eine Weise erweitert wurde, von welcher sich die Alten keine Vorstellung machen konnten. Wir wollen daher hier vorerst ein paar Notizen über die Erfindung und Einrichtung des Fernrohrs einschalten, ehe wir zur Besprechung der in der Jetztzeit gebräuchlichen Instrumente schreiten.

§ 5. (Erfindung und Einrichtung des Fernrohrs.) Die Entdeckung des Fernrohrs verdankt der Mensch nicht dem Scharfsinne oder dem angestrengten Nachdenken seines Geistes, sondern einem Zufalle, einem blinden Ungefähr. Auch wäre es, welche hohe Idee von der geistigen Kraft des Menschen man sonst nähren mag, wohl für ihn unmöglich gewesen, auf dem bloßen Wege der theoretischen Spekulationen zu Entdeckungen solcher Art zu gelangen.*) Nach Borelli's

*) Huyghens, der selbst zur Vollendung dieser Entdeckung sehr wesentlich beigetragen hat, erklärt sich darüber in seiner Dioptrik auf folgende Weise: „Wenn es je einen Menschen von solcher Geisteskraft gegeben hätte, daß er durch bloßes Nachdenken und aus geometrischen Prinzipien auf die Entdeckung des Fernrohrs gekommen wäre, so würde ich nicht anstehen, ihn für

Erzählung soll Zacharias Jansen, ein holländischer Künstler, schon im Jahre 1590 auf diese, von ihm aber erst um das Jahr 1610 bekannt gemachte Entdeckung gekommen sein, indem seine Kinder unter den vielen vorrätigen Glaslinsen zufällig zwei derselben zusammenbrachten und dadurch die entfernten Gegenstände zu ihrer Verwunderung sehr vergrößert erblickten. Andere erzählen dieselbe Anekdote von Jakob Metius aus Alkmar oder von Johann Lippersheim aus Middelburg in Holland, die beide diese Entdeckung nahe um dieselbe Zeit (1610) gemacht haben sollen. Nach neueren Forschungen von Moll in Utrecht muß man wohl Lippersheim als den eigentlichen Erfinder des Fernrohrs, das er 1608 den Generalstaaten antrug, ansehen. Metius scheint, dadurch angeregt, aber ohne das Detail zu kennen, nahe gleichzeitig auf dieselbe Idee gekommen zu sein. Jansen muß als Erfinder des Mikroskopes gelten und gehört etwa von 1610 an auch unter die ersten Verfertiger des Fernrohrs.

Ein Stück Kieselerde mit Pottasche vermischt und das Spiel von Kindern oder doch irgend ein Zufall öffnete uns also zwei neue, unbekannte Welten! — Dieser Zufall lehrte uns mit dem mikroskopischen Auge der Milbe die Blütenteile der Moose, das kunstreiche Gewebe und den Farbenschmelz der Schmetterlingsflügel und jene Geschöpfe erblicken, die, den Wassertropfen zu Tausenden bewohnend, herdenweise durch das Öhr einer Nadel ziehen, während er uns zugleich mit den Augen eines höheren Wesens die fernsten Grenzen unseres Planetensystems betrachten und selbst weit jenseits derselben die zahllosen Wunder des Himmels erkennen ließ, gegen welche alles, was uns hier unten groß und mächtig erschien, nur als ein bedeutungsloses Nichts verschwindet. Gewiß eines der vielen merkwürdigen Beispiele, die uns dringend auffordern, keine, auch nicht die geringste Erscheinung der Natur zu vernachlässigen, da sie, wenn auch anfangs unbedeutend scheinend, doch immer einen Ring mehr in der Kette unserer Kenntnisse bilden kann und daher als ein Schatz von bisher unbekanntem Werte zu dem großen Vorrate anderer Schätze gelegt werden soll, welche wir unsern Nachkommen mit der Hoffnung überlassen können, daß Zeit und Glück einst einen späten Enkel begünstigen und die Kostbarkeit des hinterlegten Pfandes zu Tage fördern werden.

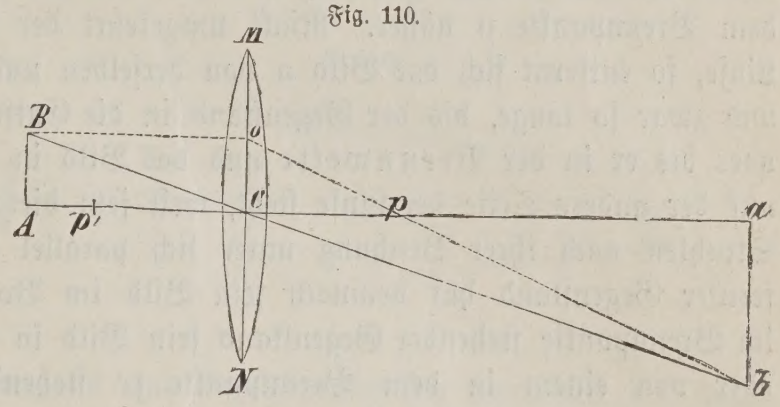
Um die Einrichtung eines Fernrohrs näher kennen zu lernen, wird es angemessen sein, zuerst die Art zu untersuchen, auf welche die Lichtstrahlen durch eine Glaslinse von ihrer Richtung abgelenkt oder, wie der Kunstausdruck lautet, gebrochen werden. Wir betrachten hier nur sogenannte bikonvexe Linsen MN (Fig. 110), deren beide Seiten erhaben geschliffen und Stücke von zwei gleichen oder auch verschiedenen Kugeln sind, deren Mittelpunkte irgendwo in derselben geraden Linie Aa liegen, welche Achse der Linie heißt.

---

ein höheres, über alle Sterblichen weit erhabenes Wesen zu halten. Aber davon sind wir so weit entfernt, daß selbst noch lange nachher unsere größten Gelehrten von dieser durch einen bloßen Zufall gemachten Entdeckung die wahren Gründe nicht einmal gehörig angeben konnten."

Eine solche Linse ist das gewöhnliche Brennglas, das Jedermann kennt und auch zu gebrauchen weiß. Wenn man nämlich die eine der beiden Flächen dieses Glases der Sonne aussetzt, so daß die Strahlen derselben nahe senkrecht auf dieselbe fallen, bemerkt man auf der anderen Seite der Linse in einiger Entfernung von ihr einen kleinen, runden, lichten Kreis, den man ihren Brennpunkt nennt, weil er eine große Hitze äußert und oft Gegenstände, auf die er fällt, in Brand setzt. Dieser Brennpunkt liegt, wie man sich leicht überzeugen kann, immer in der Achse Aa der Linse und ist in der That das Bild der Sonne, wie man deutlich sehen kann, wenn man die Linse vor die Öffnung eines verfinsterten Zimmers stellt und auf die nach innen gekehrte Seite derselben eine weiße Tafel bringt, wo sich dann von den entfernten äußeren Gegenständen, z. B. von den andern Häusern der Stadt, die Bilder auf der Tafel zeigen, wenn sie eben so weit, wie oben bei der Sonne, von der Linse absteht. Diese Erscheinung rührt daher, daß die von den entfernten Gegenständen ausgehenden und die ganze Vorderfläche der Linse bedeckenden Lichtstrahlen bei ihrem Durchgange durch die Linse gebrochen und auf der anderen Seite derselben so vereinigt werden, daß alle Strahlen, welche von einem bestimmten Punkte des Gegenstandes, z. B. von der Spitze eines Turmes ausgingen, sich wieder in einem einzigen bestimmten Punkte sammeln und eben dadurch das Bild dieser Turmspitze bilden. Dasselbe gilt auch von jedem andern Punkte des Turmes, weil sonst das Bild desselben nicht so rein und deutlich sein könnte, wie es in der That erscheint.

Fig. 110.



Wenn der äußere Gegenstand (ein entfernter Turm oder die noch viel entferntere Sonne) sehr weit von der Linse absteht, so liegt das Bild derselben in dem Brennpunkte der Linse. In diesem Falle können aber alle Strahlen, welche von dem leuchtenden Gegenstande auf die Linse fallen, als unter einander parallel angesehen werden, so daß also für parallel auffallende Strahlen der Ort des Bildes immer in dem Brennpunkte der Linse steht.

Wenn aber der Gegenstand näher an die Linse rückt, so daß ihre Größe gegen seine Entfernung nicht mehr als unbedeutend angesehen werden kann, so wird die Divergenz der auf die Linse fallenden Strahlen nicht mehr unmerklich, und auch die Brechung derselben bei ihrem Durchgange durch die Linse anders sein als zuvor: das Bild wird zwar noch in die Achse Aa der Linse, aber nicht mehr in den Brennpunkt derselben fallen und überdies auch nicht mehr dieselbe Größe haben.

Um für jeden gegebenen Gegenstand den Ort und die Größe von dessen Bild zu finden, zieht man durch irgend einen seiner Punkte B zwei Gerade, von welchen die eine BC durch den Mittelpunkt der Linse geht und die andere Bo mit ihrer Achse parallel ist. Führt man dann durch den Punkt o und den Brennpunkt p der Linse eine Gerade op, welche verlängert die vorige Gerade BCb in dem Punkte b schneidet, so ist b das gesuchte Bild des Punktes B. Genauer aber erhält man die Entfernung $Ca = \alpha$ und die Größe des Bildes $ab = \beta$, wenn man $Cp = p$ die Brennweite der Linse, $AC = a$ die Entfernung und $AB = b$ die Größe des Gegenstandes nennt, aus den beiden Gleichungen:

$$\alpha = \frac{ap}{a - p} \quad \text{und} \quad \beta = \frac{bp}{a - p}$$

von denen die erste die Entfernung α und die zweite die Größe β des Bildes liefert.

Nimmt die Entfernung AC des Gegenstandes von der Linse zu, so nimmt die Größe ab sowohl als auch die Entfernung aC des Bildes ab und a rückt dem Brennpunkte p näher. Rückt umgekehrt der Gegenstand A näher an die Linse, so entfernt sich das Bild a von derselben und wird zugleich immer größer und zwar so lange, bis der Gegenstand in die Entfernung Cp' gleich Cp kommt, oder bis er in der Brennweite und das Bild in einer unendlichen Entfernung auf der andern Seite der Linse steht, weil jetzt die aus p' auf die Linse fallenden Strahlen nach ihrer Brechung unter sich parallel werden. Ein sehr weit entfernter Gegenstand hat demnach sein Bild im Brennpunkte der Linse, und ein im Brennpunkte stehender Gegenstand sein Bild in einer unendlichen Entfernung, oder von einem in dem Brennpunkte p' stehenden Gegenstand werden alle Strahlen durch die Linse in unter sich parallele Lagen gebrochen. Übrigens bemerkt man auch ohne unsere Erinnerung, daß in allen den erwähnten Fällen das Bild des Gegenstandes immer verkehrt ist, indem das Bild b des höchsten Punktes des Gegenstandes am tiefsten unter der Achse ACa der Linse liegt.

Nach dieser Erläuterung der Wirkung einer einfachen Linse wird es leicht sein, die Einrichtung der Fernrohre zu übersehen. Die einfachsten dieser optischen Instrumente bestehen aus zwei Linsen, die an den beiden Enden einer Röhre so angebracht sind, daß ihre Achsen sowohl als auch ihre Brennpunkte zusammenfallen.

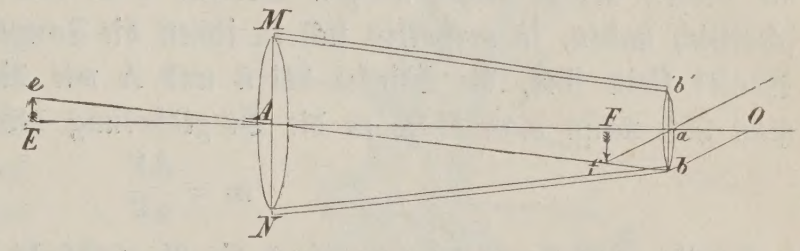
Sei Ee (Fig. 111) der Gegenstand in einer sehr großen Entfernung von der größeren Linse MAN oder dem Objektive und bab' die kleinere Linse oder das Okular — zwei Kunstausdrücke, die zuerst von dem Kapuziner Schirläus de Rheita gebraucht wurden —, EAa die gemeinschaftliche Achse der beiden Linsen und in dieser F ihr gemeinschaftlicher Brennpunkt.

Schon aus dieser Stellung der beiden Linsen folgt, daß die von einem sehr weit entfernten Gegenstande Ee mit der Achse parallel auf das Objektiv MN auffallenden Strahlen ihr Bild in dem Brennpunkte F dieses Objektivs haben werden. Da aber dieses Bild in F für die Okularlinse bb' die Stelle des Gegen-

standes vertritt, und da dieser Gegenstand F in dem Brennpunkte der Okularlinse liegt, so treten die Lichtstrahlen nach der Brechung durch das Okular bb' unter sich parallel in das Auge O des Beobachters, und dies ist die erste wichtige Eigenschaft des Fernrohrs, da ein wohlgebautes Auge die Gegenstände nur dann deutlich sieht, wenn die von jedem Punkte desselben ausgehenden Strahlen unter sich parallel werden. Allein dieses Instrument gewährt noch andere, größere Vorteile.

Der in der Achse liegende Punkt E des hier als sehr entfernt angenommenen Gegenstandes wirft eine Anzahl mit der Achse Aa paralleler Strahlen auf das Objektiv MN, welche dieses gleichsam ganz bedecken, sich nach ihrer Brechung durch das Objektiv in dem Brennpunkte desselben F vereinigen und daselbst das Bild jenes Punktes E entwerfen. Von F gehen dann diese Strahlen divergierend auf das Okular bb', aus welchem sie nach ihrer zweiten Brechung unter sich parallel austreten. Da der Hauptstrahl EAFO des Punktes E durch beide Linsen ungebrochen durchgeht, so ist Ea oder aO die Richtung aller von E kommenden, nach der zweiten Brechung unter sich parallelen Strahlen.

Fig. 111.



Betrachten wir nun ebenso auch den äußersten Punkt e des Gegenstandes Ee oder den, der von der Achse am meisten entfernt ist. Dieser Punkt e schickt ebenfalls eine Anzahl unter sich paralleler, also auch, da Ee gegen die Entfernung EA sehr klein zu denken ist, mit der Achse Aa paralleler Strahlen auf das Objektiv, die ebenfalls das letztere gleichsam bedecken und daher nach ihrer Brechung sich in irgend einem Punkte f vereinigen, welcher also das Bild des Punktes e sein wird. Da aber der Hauptstrahl des Punktes e, nämlich der Strahl eA, ungebrochen durch die Mitte A des Objektivs hindurchgeht, so findet man den Punkt f, wenn man in dem Brennpunkte F des Objektivs ein Lot auf die Achse Aa errichtet, wo dann der Durchschnittspunkt dieses Lotes Ff mit jenem Hauptstrahle eAf den gesuchten Ort f des Bildes von e und überhaupt das Lot Ff das Bild des Gegenstandes Ee geben wird. Dieses Bild Ff wird aber, wie man leicht sieht, im allgemeinen desto kleiner sein, je kleiner die Brennweite AF der Linse MN ist. Von diesem Vereinigungspunkte f aller von e kommenden Strahlen fallen dann diese Strahlen wieder divergierend auf das Okular bb' und treten, da sie von dem Brennpunkte f oder, da das ganze Bild Ff sehr klein ist, sehr nahe von dem Brennpunkte F des Okulars kommen, nach ihrer Brechung durch dieses Okular bb' parallel unter sich aus demselben. Um aber auch hier die gemeinschaftliche Richtung aller dieser parallelen Strahlen zu erfahren, ziehe man den Strahl fa, der als Hauptstrahl des Punktes f ungebrochen

durch die Mitte a des Okulars geht und der daher die gesuchte Richtung aller von f kommenden, nach ihrer Brechung unter sich parallelen Strahlen anzeigt.

Führt man nun durch den äußersten Rand b des Okulars die gerade Linie bO parallel mit fa, so wird der Punkt O der Achse der Ort des Auges sein, in welchem dasselbe alle von dem Gegenstande Ee kommenden Strahlen übersehen kann, sowie zugleich der Winkel aOb = Faf derjenige Winkel sein wird, unter welchem das Auge des Beobachters in O durch das Fernrohr den Gegenstand Ee oder eigentlich das Bild Ff desselben sieht.

Ein unbewaffnetes, freies Auge in O aber würde den Gegenstand nur unter dem viel kleineren Winkel EOe oder, was hier wegen der gegen AO sehr groß gedachten Entfernung EA dasselbe ist, unter dem Winkel EAe = FAf sehen, und in diesem Unterschiede der beiden Sehwinkel Faf und FAf besteht der zweite und wesentlichste Vorteil dieser Instrumente, indem man durch sie alle Gegenstände unter viel größeren Winkeln, also diese Gegenstände selbst viel größer sieht als mit freien Augen.

Es ist leicht, den Grad dieser Vergrößerung genau anzugeben. Da nämlich die beiden bei F rechtwinkligen Dreiecke FAf und Faf die Seite Ff gemeinschaftlich haben, so verhalten sich in ihnen die Tangenten der Winkel, oder da die Winkel klein sind, die Winkel bei a und A wie die Seiten FA und Fa, oder man hat, wenn man durch m die Vergrößerung des Fernrohrs anzeigt,

$$m = \frac{AF}{aF}$$

das heißt, das Fernrohr vergrößert die Gegenstände so vielmal, als die Brennweite aF des Okulars in der Brennweite AF des Objektivs enthalten ist. Um daher recht stark vergrößernde Fernrohre zu erhalten, wird man ein Objektiv von großer Brennweite wählen und es mit einem Okulare von verhältnismäßig kleiner Brennweite verbinden. Ist z. B. die Brennweite des Objektivs 4 m oder 4000 mm und die des Okulars nur 4 mm, so wird die Vergrößerung eines solchen Fernrohrs 1000 sein, oder man wird damit alle Gegenstände unter einem 1000mal größeren Winkel sehen als mit freien Augen. Um bedeutende Vergrößerungen zu erhalten, muß also entweder die Brennweite des Objektivs sehr groß oder die des Okulars sehr klein sein: unsere Vorfahren waren gezwungen, den ersten Weg zu betreten und kamen so endlich zu Fernrohren von 70 und mehr Meter Länge.

Dabei leistete, wie eine neuerliche Prüfung ergab, z. B. ein Huyghens'sches Fernrohr von 15 cm Öffnung und 40 m Fokaldistanz oder Brennweite des Objektives etwa so viel wie ein heutiges Teleskop von 10 cm Öffnung und 1·5 m Brennweite. Den großen, namentlich von der damaligen Mechanik kaum zu bewältigenden Schwierigkeiten in der Aufstellung solcher Ungeheuer von Instrumenten suchte schon 1674 R. Hooke dadurch abzuhelfen, daß er das Teleskop in irgend einer Lage fixierte und die Lichtstrahlen der verschiedenen zu betrachten-

den Gegenstände durch einen Spiegel in dasselbe leitete, der sich für Gestirne deren täglicher Bewegung entsprechend drehte.

Eine deutliche Vorstellung von diesen unbehilflichen Apparaten mag Fig. 112 geben, die ein solches Instrument zeigt, wie es zu Ende des 17. Jahrhunderts aus den Händen der vorzüglichsten Optiker hervorging. Das Teleskop hängt, wie man sieht, an einem Stricke, der über eine Rolle lief und so in den Stand setzte, das Instrument zu heben oder zu senken. Die eigentliche Richtung wurde aus freier Hand gegeben und wenigstens einige Stabilität durch ein Gestelle erreicht, auf dem das Okularende ruhte. Um der Biegung des überlangen Rohres vorzubeugen, sollte das Sparrenwerk dienen, in welchem das Teleskop liegt. Man kann in der That den Astronomen jener Tage die volle Bewunderung nicht versagen für die schönen Resultate, die sie solchen Werkzeugen abzuringen wußten, wie denn z. B. Bianchini in Rom mit so montierten Fernrohren von 22 m und $33^1/_2$ m Brennweite von Mondgegenden Abbildungen lieferte, die sich mit den besten heutigen Zeichnungen vergleichen lassen.

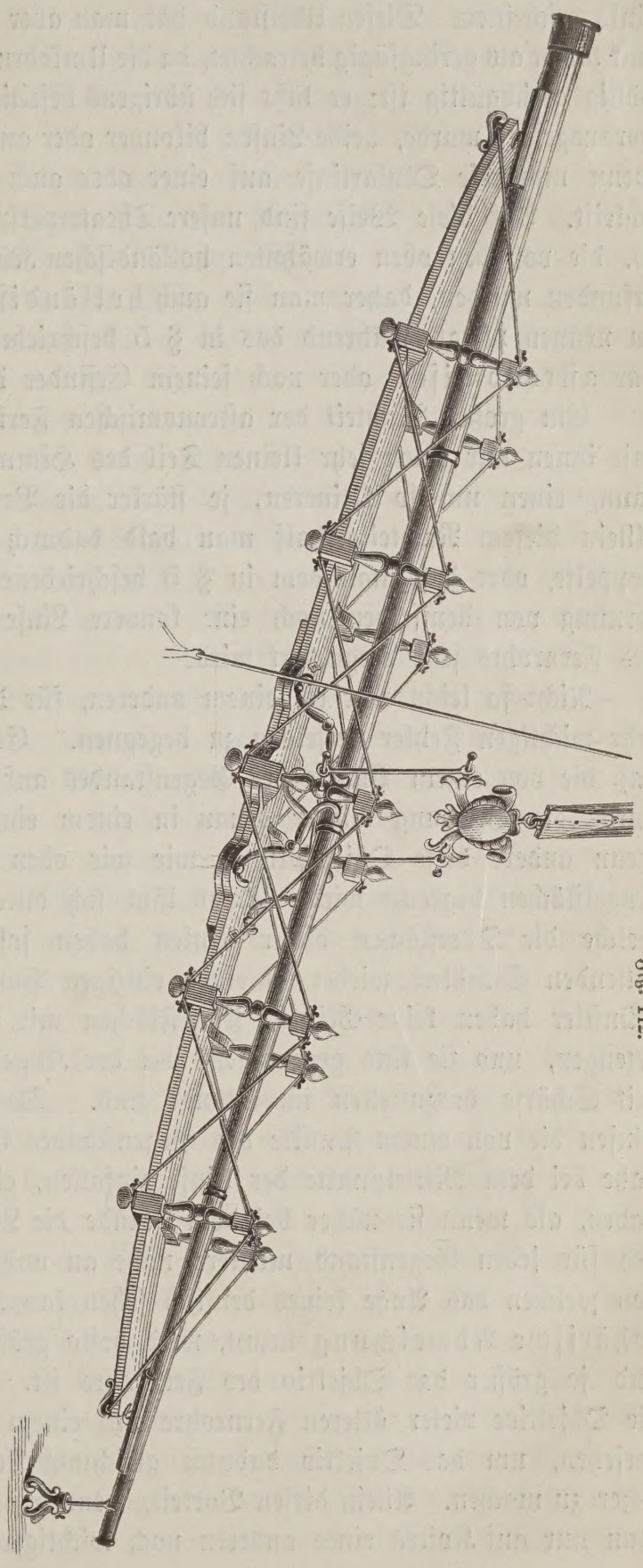


Fig. 112.

§ 6. (Allmähliche Verbesserung der Fernrohre.) Das soeben beschriebene Fernrohr ist das einfachste seiner Art. Es zeigt,

wie man schon aus der Zeichnung sieht, die Gegenstände, die man dadurch betrachtet, in verkehrter Lage, so daß die oberen Teile derselben unten und die rechts stehenden links erscheinen. Diesen Übelstand hat man aber für astronomische Beobachtungen mit Recht als geringfügig betrachtet, da die Umkehrung für Gegenstände des Himmels völlig gleichgültig ist; er läßt sich übrigens beseitigen, wenn man nicht, wie bisher vorausgesetzt wurde, beide Linsen bikonvex oder auf beiden Seiten erhaben, sondern wenn man die Okularlinse auf einer oder auch auf beiden Seiten hohl, konkav schleift. Auf diese Weise sind unsere Theaterperspektive eingerichtet, und diese sind es, die von den oben erwähnten holländischen Künstlern und von Galilei zuerst erfunden wurden, daher man sie auch holländische Fernrohre oder Galilei'sche zu nennen pflegt, während das in § 5 beschriebene, mit zwei bikonvexen Linsen das astronomische oder nach seinem Erfinder das Kepler'sche Fernrohr heißt.

Ein großer Nachteil der astronomischen Fernrohre bestand darin, daß man mit ihnen nur einen sehr kleinen Teil des Himmels mit einem Blicke übersehen kann, einen um so kleineren, je stärker die Vergrößerung des Instruments ist. Allein diesem Nachteile half man bald dadurch ab, daß man das Okular verdoppelte, oder daß man dem in § 5 beschriebenen Okulare bb' in geringer Entfernung von demselben noch eine konvexe Linse hinzufügte, wodurch das Feld des Fernrohrs sehr vergrößert wird.

Nicht so leicht war es, einem anderen, für den Gebrauch dieser Instrumente sehr wichtigen Fehler derselben zu begegnen. Es ist nämlich nicht ganz richtig, daß die von einem Punkte des Gegenstandes auf das Objektiv fallenden Strahlen durch die Brechung wieder genau in einem einzigen Punkte vereinigt werden, wenn anders diese Objektivlinse, wie wir oben vorausgesetzt haben, von zwei Kugelflächen begrenzt wird. Zwar läßt sich durch Rechnung die Gestalt finden, welche die Oberflächen dieser Linsen haben sollten, um alle parallel auf sie fallenden Strahlen wieder in einen einzigen Punkt zu vereinigen. Aber unsere Künstler haben keine Mittel, jene Flächen mit der hier nötigen Genauigkeit zu erzeugen, und sie sind gezwungen, bei der Kugelfläche zu bleiben, die sie allein mit Schärfe darzustellen im Stande sind. Da nun bei solchen kugelförmigen Linsen die von einem Punkte des Gegenstandes kommenden Strahlen, wenn sie nahe bei dem Mittelpunkte der Linse einfallen, einen anderen Vereinigungspunkt haben, als wenn sie näher bei dem Rande die Linse treffen, so entstehen eigentlich für jeden Gegenstand mehrere nahe an und über einander liegende Bilder, von welchen das Auge keines deutlich sehen kann. Dieser Fehler, den man die sphärische Abweichung nennt, wird desto größer, je stärker die Vergrößerung und je größer das Objektiv des Fernrohrs ist. Aus dieser Ursache findet man die Objektive vieler älteren Fernrohre mit einem ihren Rand bedeckenden Ringe versehen, um das Objektiv dadurch gleichsam kleiner und jenen Fehler unschädlicher zu machen. Allein diesen Vorteil, wenn er so genannt werden kann, erlangte man nur auf Kosten eines anderen noch wichtigeren. Es ist nämlich für sich klar,

daß man die Gegenstände durch ein Fernrohr desto heller sehen wird, je mehr Licht von dem Gegenstände auf das Objektiv fällt, d. h. je größer das Objektiv ist. Eine Verkleinerung dieses Objektivs wird also das Bild desselben dunkel und lichtschwach machen, und dieses wird desto fühlbarer, je stärker die Vergrößerung ist.

Dazu kam noch ein anderes Hindernis, das anfangs ganz unübersteiglich schien. Wir wissen, daß jeder einzelne an sich weiße Lichtstrahl aus vielen anderen besteht, die sich durch eigene Farben unter einander kenntlich machen (II, § 8). Diese einzelnen farbigen Strahlen haben aber die für die Verfertigung der Fernrohre sehr nachteilige Eigenschaft, daß jeder derselben durch die Linse des Objektivs auf eine andere Weise gebrochen wird, so daß nun statt eines einzigen deutlichen und weißen Bildes des Gegenstandes eine Anzahl verschiedenfarbiger Bilder desselben entsteht, die dem Deutlichsehen noch hinderlicher sind, als die so eben erwähnten, von der Kugelgestalt der Gläser rührenden Einflüsse. Diesen Fehler der Fernrohre nennt man chromatische oder Farbenabweichung, und er schien so wesentlich mit der Natur der Sache zusammenzuhängen, daß selbst Newton an aller Hilfe verzweifelte und, von den Fernrohren dieser Art ganz abgehend, seine Zuflucht zu andern nahm, wo die Glasobjektive durch Metallspiegel ersetzt wurden. Man verfertigte daher, namentlich in England, längere Zeit hindurch fast ausschließlich Spiegelteleskope oder Reflektoren, die gegen die Refraktoren auch noch den Vorzug hatten, daß sie viel kürzer waren, und brachte sie dadurch zu einer sehr großen Vollkommenheit, während die so sehnlich gewünschte Verbesserung der Refraktoren durch jene Ansicht des großen Mannes, zu der er durch einen sonderbaren Fehlschluß verleitet worden war, lange Zeit aufgehalten wurde.

Leonhard Euler war der Erste, der aus der Beschaffenheit des menschlichen Auges den Schluß zog, es müsse möglich sein, jene beiden Fehler der Refraktoren durch eine zweckmäßigere Einrichtung dieser Instrumente aufzuheben, weil sie, wie er annahm, die Natur in unserem Auge in der That aufgehoben hat. Er schlug zu diesem Zwecke nach der Analogie der inneren Einrichtung des Auges zwei Glaslinsen vor, welche zwischen ihren inneren konkaven Flächen verschiedene Flüssigkeiten enthalten sollten. Er stellte darüber nicht sowohl praktische Versuche, die Chester Esquire von Morehall schon 1733 gelungen sein sollen, als vielmehr theoretische Untersuchungen an. Im Jahre 1747 teilte er seine Berechnung eines solchen farblosen oder achromatischen Fernrohrs mit, dessen Linsen er sich mit Wasser gefüllt dachte. Der größte Optiker seiner Zeit, John Dollond, suchte auch diesen Versuch praktisch auszuführen, aber da ihm seine ersten Bemühungen mißlangen, gab er die Sache bald auf, nahm seine Versuche aber wieder vor, als im Jahre 1754 Klingenstierna, ein ausgezeichneter schwedischer Geometer, zeigte, daß Newton sich in seinem Schlusse geirrt habe. Allein statt der Flüssigkeiten, die Euler vorgeschlagen hatte, wählte Dollond nun zwei verschiedene Glasarten, die in England unter dem Namen Crown- (Kron-) und

Flint- (Blei-)glas bekannt sind. Mehr durch eine Art dunklen Gefühls als durch mathematische Schlüsse, fand er endlich, daß sich ein fehlerfreies Objektiv dadurch erreichen lasse, daß man dasselbe aus zwei nahe an einander gestellten Linsen, einer bikonveren von Kronglas und einer konkaven von Flintglas zusammensetzt. So gelang es ihm nach vielen darüber angestellten Versuchen, im Jahre 1758 ein achromatisches Fernrohr von 1·5 m Länge zu Stande zu bringen, das mit allgemeinem Beifall aufgenommen wurde, da es in seinen Wirkungen die besten bisher bekannten Fernrohre von viel größerer Länge weit übertraf. Dollond verwendete die letzten 3 Jahre seines Lebens zur Vervollkommnung seiner Entdeckung, die er noch sehr weit zu führen die gewisse Hoffnung hatte, und überließ sie endlich seinem Sohne Peter Dollond, der ihr in Verbindung mit Ramsden die Vollendung gab, die man bereits am Ende des verflossenen Jahrhunderts an diesen Instrumenten zu bewundern Gelegenheit hatte.

Auf der anderen Seite suchte Euler die Theorie dieser Instrumente zu fördern, als er die praktische Ausführung achromatischer Fernrohre nicht weiter bezweifeln konnte, nachdem er anfangs an die glücklichen Erfolge des englischen Künstlers kaum glauben konnte, da er die Brechbarkeit und Farbenzerstreuung jener zwei Glasarten für viel zu wenig verschieden hielt, um darauf so große Wirkungen zu gründen, und machte die Resultate seiner Untersuchungen in den Memoiren der Akademien zu Berlin und Petersburg und endlich in einem eigenen größeren Werke, seiner Dioptrik, bekannt. Seitdem haben wir von Clairaut, d'Alembert, Klügel, Gauß u. A. viele treffliche Bearbeitungen dieses Gegenstandes erhalten.

In neuerer Zeit haben sich als Verfertiger von Refraktoren unter den optischen Künstlern vorzüglich Fraunhofer (jetzt Merz), sowie Plössl in Wien, Steinheil in München, Alvan Clark in Boston Cooke in York, Grubb in Dublin u. A. ausgezeichnet. Die größte Schwierigkeit, die sich der Verfertigung vollkommener Objektive entgegensetzt, besteht in der Bereitung großer Stücke reinen, wellenfreien Glases. Auch sind die Verhältnisse, nach welchen jene zwei Glasarten die Lichtstrahlen brechen, in der That sehr wenig von einander verschieden, da sie nur zwischen den engen Grenzen von 1·5 und 1·6 liegen. Noch enger sind die Grenzen für die Farbenzerstreuungen dieser beiden Glasarten. Andere Glasgattungen, welche in diesen beiden Beziehungen größere Verschiedenheit hätten, würden viel bessere Mittel zur Fertigung vollkommener Fernrohre darbieten, weil auf diesen Verschiedenheiten die Aufhebung der beiden oben erwähnten Fehler vorzüglich beruht. Da das Blei in größerer Quantität sich nicht gut mit den übrigen Bestandteilen des Glases zu einer homogenen Masse vermischt, so hat man verschiedene andere Beimischungen: Zink, Wismuth, Baryt u. s. w. zu diesem Zwecke vorgeschlagen. Unter der Voraussetzung einer solchen, von den bisherigen in jenen zwei Beziehungen mehr verschiedenen Glasart hat J. J. v. Littrow, der ursprüngliche Verfasser vorliegenden Werkes, bereits im Jahre 1827 theoretische Untersuchungen über die aus solchen Glasgattungen bestehenden Fern-

rohre angestellt und gefunden, daß bei ihnen die beiden Linsen, aus welchen das Objektiv besteht, nicht mehr nahe in Berührung, sondern daß sie in beträchtlicher Entfernung von einander gestellt werden müssen, um ihre größte Wirkung zu äußern, so zwar, daß die zweite Linse bei günstigen Verhältnissen der Glasarten nahe in die Mitte des ganzen Fernrohrs zu stehen kommt. Wegen dieser Trennung der beiden Objektivlinsen hat man diese Fernrohre dialytische genannt. Der bereits erwähnte treffliche Optiker Plössl in Wien hat deren von allen Dimensionen ausgeführt, die nach dem einstimmigen Urteile der Kenner die bisherigen achromatischen Fernrohre in mancher Beziehung sogar übertreffen. Da ihm sowie überhaupt allen optischen Künstlern jene neuen Glasarten noch fehlten, machte er den Versuch, die zweite, innere Linse, die aus der neuen Glasart verfertigt werden sollte, durch eine eigens konstruierte Doppellinse von Kron- und Flintglas zu ersetzen und obschon der Versuch sehr glücklich ausfiel, so würde doch eine einfache Linse, deren Glas die zu diesem Zwecke erforderlichen Eigenschaften besäße, noch glänzendere Resultate geben. Die Vorteile, welche die dialytischen Fernrohre gewähren, bestehen vorzüglich darin, daß die zweite oder die innere Linse sich bis auf ihre Hälfte und selbst darunter verkleinert, wodurch die Anfertigung großer Fernrohre erleichtert und der Preis dieser Instrumente mäßiger wird, und daß die Länge der Fernrohre durch die neue Einrichtung bedeutend vermindert werden kann. Diese Vorzüge sind bedeutend genug, um zum Nachdenken aufzufordern, wie man über die Nachteile, an denen es bei dieser Konstruktion auch nicht fehlt (geringere Lichtstärke, Schwierigkeiten der Reparatur ꝛc.), Herr werden könnte.

Auch die frühere Idee Euler's, statt der Gläser besondere Flüssigkeiten zu wählen, hat man in den ersten Decennien unseres Jahrhunderts auszuführen gesucht. Blair und Brewster im Jahre 1813 in London, Girard 1822 in Wien, Barlow 1828 und nahe um dieselbe Zeit auch Rogers in Edinburg haben solche Versuche angestellt, die nach den darüber erhaltenen Nachrichten glücklich ausgefallen sind. Zu diesen aplanatischen Fernrohren, wie man sie nennt, hat Brewster das ätherische Öl von Cassia und Sassafras, später aber vorzugsweise Schwefelalkohol (Sulfuret of carbon) vorgeschlagen, welchen letzteren auch Barlow anwandte. Girard soll Terpentinöl und Marx in Göttingen Kreosot zu den aplanatischen Objektiven gebraucht haben u. s. w. Eine große Schwierigkeit bei solchen mit Flüssigkeiten gefüllten Objektiven besteht aber in den Einflüssen der Temperatur und den dadurch bewirkten Störungen in der Dichte der Fluida, so daß diese aplanatischen Fernrohre, die mit den dialytischen im Grunde auf demselben Prinzip, auf der Trennung der beiden Objektivlinsen beruhen, nie in allgemeineren Gebrauch kamen, im Gegenteile bald ganz in Vergessenheit gerieten.

Die größten völlig vollendeten Refraktoren sind das Yerkes Teleskop der Universität von Chicago [von 102 cm (40 eng. Zoll) Öffnung], aufgestellt in der Nähe der Stadt Williams Bay am Geneva See, das der Lick-Sternwarte auf Mount Hamilton [91·5 cm (36 engl. Zoll)], beide von Alvan Clark jun. in Cambridgeport

bei Boston, und die Refraktoren in Nizza und Pulkowa [beide 76 cm (30 engl. Zoll)], der erstere von den Brüdern Henry in Paris, der letztere von Alvan Clark sen., diesen reihen sich die Fernrohre in Greenwich und Wien [71 cm (28 engl. Zoll) und 68·5 cm (27 engl. Zoll)] von Grubb in Dublin u. s. w. an.

Die ebengenannten Riesenrefraktoren stammen alle aus der neuesten Zeit, und wurde der Bau derselben fast gleichzeitig in England und Amerika begonnen. Gegen dieselben verhielt man sich aber auf dem Festlande von Europa längere Zeit hindurch sehr reserviert oder vielmehr ablehnend. Erst die Bestellung eines solchen im Jahre 1873 für die neu zu erbauende Wiener Sternwarte brachte hierin einen merkwürdigen Umschwung hervor; nun wollte sofort eine Reihe von Sternwarten nicht nur ein Fernrohr von ähnlicher Größe erwerben, sondern man ging bei jeder späteren Bestellung mit den Dimensionen des Objektives um ein paar Centimeter weiter, um das größte Fernrohr der Welt zu besitzen. So wurde kurz nach dem Wiener Refraktor für Paris bei Martins ein solcher von 73 cm (27 par. Zoll) bestellt; hierauf von Struve bei A. Clark der obenerwähnte von 76 cm für Pulkowa, und unmittelbar darauf für die Sternwarte von Nizza einer von gleicher Größe in Aussicht genommen. Allein auch diese Fernrohre wurden sofort dadurch übertrumpft, daß Alvan Clark und sein gleichnamiger Sohn den Auftrag erhielten, für das Lick Observatory einen Refraktor von 91 cm zu bauen. Doch auch dieser blieb nicht lange der größte der Welt: auch er hat bereits dem Yerkes Teleskop, vorläufig dem Leviathan unter den Refraktoren, seinen Vorrang abtreten müssen.

Welchen Aufschwung übrigens nach einer fast ein Menschenalter hindurch währenden Stagnation in dem letzten Decennium die Verfertigung großer Refraktoren genommen hat, kann man daraus entnehmen, daß die beiden um 1835 von Merz vollendeten Objektive von 38 cm Öffnung, von denen das eine für die Sternwarte von Pulkowa bestimmt war, das zweite einige Jahre später von der Sternwarte des Harvard College zu Cambridge (U. S.) angekauft wurde, ohne Rivalen die mächtigsten dioptrischen Werkzeuge blieben, bis Alvan Clark 1862 den jetzt in Chicago befindlichen Refraktor von 47 cm vollendete, und sogleich selbst die Superiorität dieses Instrumentes über alle bisher ausgeführten durch Entdeckung eines Siriusbegleiters bekundete. Den ersten der Riesenrefraktoren der Neuzeit mit 63·5 cm Öffnung konstruierte aber erst 1868 Cooke in York, und diesem folgte wieder einige Jahre (1873) später A. Clark mit dem noch etwas größeren (66 cm) Washingtoner Refraktor, der bald darauf durch die Auffindung der Marsmonde so berühmt wurde. Von nun an nahm aber die Zahl der großen und größten Fernrohre in geradezu erstaunlicher Progression zu: denn jetzt (Ende 1895) besitzen wir bereits 19 ganz vollendete und außerdem mehrere in Arbeit begriffene Fernrohre, welche das alte Pulkowaer an Größe übertreffen, während der Dorpater Refraktor, mit 24·5 cm (9 par. Zoll) Öffnung, der, als er vor etwa 70 Jahren aus Fraunhofers Meisterhand hervor-

ging, förmlich als ein Weltwunder angestaunt wurde, heute kaum mehr zu den „großen" gezählt werden kann, da schon gegen 100 Fernrohre von gleichen oder überlegenen Dimensionen vorhanden sind.

Bei der so raschen, sprungweisen Vergrößerung der Objektivöffnung der Refraktoren drängt sich unwillkürlich die Frage auf, bis zu welcher Grenze man dieselbe mit Vorteil werde treiben können? Dabei kommt, abgesehen von der Schwierigkeit der Herstellung so riesiger, durchaus homogener Glasscheiben, auch abgesehen von der enormen Erhöhung der Kosten, die nicht nur dadurch, sondern auch durch die damit verbundene Vergrößerung der Drehkuppeln u. s. w. bedingt wird, ja auch abgesehen von den mechanischen Schwierigkeiten, welche die Verfertigung einer Montierung bereitet, die ein leichtes und bequemes Handhaben solcher Kolosse gestattet, noch ein anderer Umstand in Betracht.

Das Brechungs- und Zerstreuungsvermögen der beiden Glassorten: Kron- und Flintglas, welche jetzt zur Verfertigung achromatischer Fernrohre verwendet werden, läuft nur nahezu, nicht vollkommen parallel, mit anderen Worten: bei einer Brechung, in welcher durch beide Glassorten Spektren entworfen werden, dessen rote Enden, etwa von den Fraunhofer'schen Linien A bis C (Fig. 44, S. 244), die gleiche Ausdehnung besitzen, hat das violette Ende, etwa von G bis H, nicht ebenfalls dieselbe Ausdehnung, sondern ist in beiden Spektren verschieden breit. Es ist daher auch nicht möglich, alle von einem weißen Lichtpunkte ausgesendeten Lichtstrahlen durch eine Kombination von zwei Linsen aus diesen beiden Glassorten wieder in ein vollkommen reines weißes Bild zu vereinigen. Wenn man beispielsweise für eine solche Linsenkombination, wie dies gewöhnlich geschieht, die inneren hellsten Partien des Spektrums etwa von orange bis hellblau achromatisiert, d. h. die Bilder dieser Farben in einen Punkt vereinigt, wird das Bild des roten Endes des Spektrums diesseits, das des violetten Endes jenseits dieses Punktes liegen. Das rote und violette Bild sind daher im Vereinigungspunkte der centralen Partien des Spektrums nicht vollkommen scharf, und die Folge davon die, daß auch in einem achromatischen Fernrohre die Bilder der Gegenstände schwache Farbensäume zeigen. Diese Erscheinung bezeichnet man als sekundäres Spektrum, und es ist leicht begreiflich, daß dieses sekundäre Spektrum desto störender hervortritt, je größer die Dimensionen des Instrumentes sind. Allein auch diesem Übelstande ist bereits gesteuert, indem es der optischen Werkstätte von Professor Abbé in Jena nach jahrelangen, systematisch durchgeführten Versuchen gelungen ist, durch Ersetzen des Bleioxydes im Flintglase, durch die Oxyde anderer Metalle Gläser herzustellen, bei welchen Brechung und Farbenzerstreuung einander parallel gehen. Der Vergrößerung der achromatischen Fernrohre scheinen also vorläufig bloß der Kostenpunkt und die Schwierigkeiten der Herstellung von Glasscheiben von der erforderlichen Größe, sowie die einer entsprechenden Montierung des Instrumentes und der zur Erleichterung der Beobachtungen an demselben nötigen Vorrichtungen Grenzen zu stecken, denn die De-

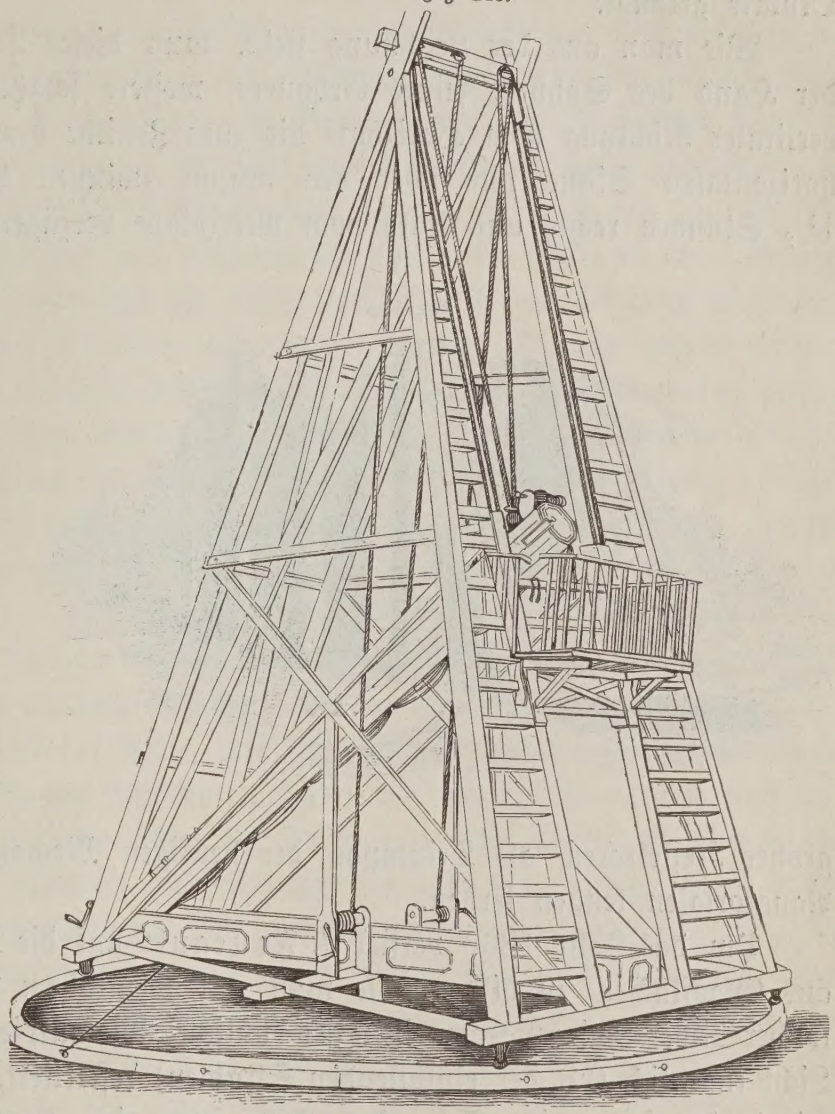
formationen der Gestalt der Gläser durch die Wirkung der Schwere, die bereits beim Yerkes Teleskope merkbar zu werden beginnen, dessen Objektiv mit seiner Fassung schon ein Gewicht von 5 Metercentnern besitzt, werden sich wohl durch eine geeignete Konstruktion der Fassung beheben lassen.

Es wurde schon oben erwähnt, daß Newton, um den Unvollkommenheiten der dioptrischen Fernrohre (Refraktoren) zu entgehen, katoptrische oder Spiegelteleskope (Reflektoren) empfahl, die denn auch besonders in England schon gegen das Ende des verflossenen Jahrhunderts durch W. Herschel, und in unseren Tagen durch Lassell, Lord Rosse, Grubb, Browning u. A. auf einen nie geahnten Grad der Vollkommenheit gebracht wurden.

Da nämlich bei einem konkaven Spiegel das Bild eines entfernten Gegenstandes ganz ebenso vor dem Spiegel entsteht, wie bei einer Glaslinse hinter dieser, so handelt es sich nur wieder darum, dieses Bild durch ein vergrößerndes Okular zu betrachten, um ein Fernrohr herzustellen. Es lassen sich nun verschiedene Verbindungen von Okular und Objektiv bei Spiegelteleskopen denken. Gregory, von dem die ersten Instrumente dieser Art herrühren (1663), durchbrach den Spiegel in der Mitte, stellte hinter diese Öffnung, also in die Achse des Rohres, das Okular und betrachtete durch dasselbe das durch einen zweiten, kleineren konkaven Spiegel aufgefangene, vom Objektive hervorgerufene Bild. Bald darauf änderte Cassegrain die Einrichtung dahin ab, daß er statt des konkaven kleinen Spiegels einen konvexen anwendete, der die vom Objektive kommenden Strahlen vor deren Vereinigung zum Bilde auffing. Bei beiden Konstruktionen liegt das Rohr samt dem Okulare in der Gesichtslinie zum betrachteten Gegenstande. Newton ließ (1666) das Objektiv undurchbrochen und brachte einen kleinen Planspiegel im Rohre so an, daß man durch ein seitwärts im Rohre befindliches Okular das vergrößerte Bild sehen konnte. Hier steht also die Richtung, in welcher der Beobachter das Objekt beschaut, senkrecht auf der eigentlichen Gesichtslinie zu demselben. W. Herschel endlich gab dem Spiegel eine etwas schiefe Lage gegen die Achse des Rohres und konnte nun ohne zweiten Spiegel das nahe, an die Fassung fallende Bild unmittelbar mit dem Okulare betrachten. Hier schaut man also in entgegengesetzter Richtung gegen diejenige, in welcher das Objekt steht, und hat einen allerdings geringen Lichtverlust durch den zwischen Gegenstand und Objektiv fallenden Kopf des Beobachters, wie bei den früher erwähnten Konstruktionen durch die kleinen Spiegel oder den Durchbruch des Objektives. Vor etwa 20 Jahren kombinierte der Optiker K. Fritsch in Wien die Herschel'sche und Newton'sche Konstruktion der Reflektoren, indem er den Lichtkegel des schiefgestellten Objektivspiegels so auf einen kleinen Planspiegel fallen läßt, daß er von diesem beiläufig in die Richtung der Rohrachse zurückreflektiert wird. Bei diesen Instrumenten, die Fritsch ihrer Kürze wegen Brachyten nannte, sieht man also, ebenso wie bei den Refraktoren, nach der Richtung hin, in welcher sich das Objekt befindet.

Herschel verfertigte im Jahre 1774, also in seinem 36. Jahre, sein erstes Spiegelteleskop von 1·5 m Länge. Das Gelingen dieses ersten Versuches bewog ihn, die Sache weiter und, wie es bei allen seinen Unternehmungen der Fall war, sogleich ins Große zu treiben. So verfertigte er seit dieser Epoche nicht weniger als 200 Teleskope von 2·4 m, 150 von 3 m und 80 von 6 m, nebst mehreren von 7·5 m Brennweite. Die von 6 m (20 Fuß) hatten einen Spiegel von 46 cm und die von 7·5 m (25 Fuß) einen von 61 cm Öffnung. Im Jahre 1781 begann er einen Reflektor von 9 m Fokallänge mit einem Spiegel von 91 cm Öffnung, und unter dem freigebigen Schutze Georg's III. vollendete er im Jahre 1789 sein Riesenteleskop von 12 m (40 Fuß) Brennweite und 126 cm (etwas mehr als 4 Fuß) Öffnung. Doch kam dasselbe bald außer Gebrauch, da der große Spiegel matt und nicht wiederhergestellt wurde, was bei diesen Teleskopen von Zeit zu Zeit geschehen muß und deren weiteren Verbreitung von jeher sehr hinderlich war. Eine Abbildung dieses Teleskopes und seiner Aufstellung sieht man in Fig. 113. Die meisten seiner bewunderungswürdigen Entdeckungen hat W. Herschel übrigens mit einem Teleskope von 6 m Länge gemacht, das zugleich sehr bequem zum praktischen Gebrauche war. Mit katoptrischen Instrumenten derselben Dimension hat J. Herschel in Slough (bei London) und am Kap (1838) seine großen Arbeiten geliefert, und Lassell in Starfield (bei Liverpool), sowie (1861) auf Malta mit einem Spiegelteleskop von 122 cm (4 Fuß) Öffnung und 11 m Fokaldistanz der Wissenschaft wichtige Dienste geleistet. Beide letztgenannten Beobachter verfertigten ihre Instrumente ebenfalls selbst. Kurz vorher hatte Lord

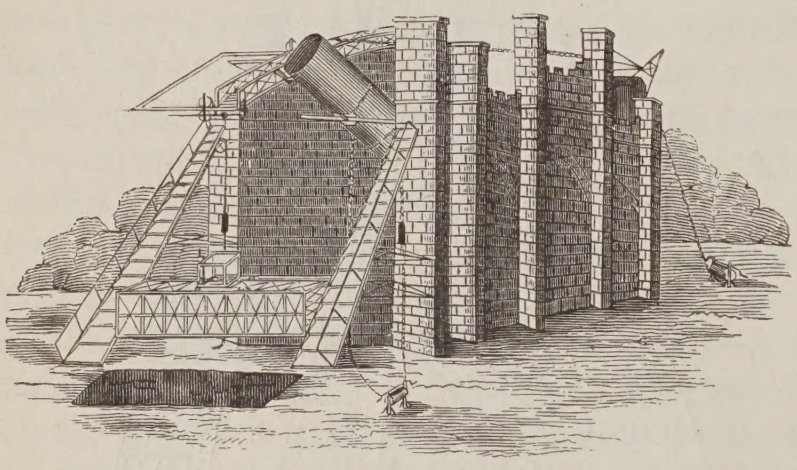
Fig. 113.



Rosse die Spiegelteleskope neuerdings in Schwang gebracht und im Jahre 1845 nach zwanzigjähriger Bemühung nebst mehreren kleineren einen Riesenreflektor von 16 m Länge mit einem Spiegel von 183 cm (6 Fuß) Durchmesser in Birr Castle bei Parsonstown (Irland) hergestellt, der namentlich an Lichtstärke alles bisher geleistete weit hinter sich zurückließ. Fig. 114 zeigt die Aufstellung dieses großartigen, Leviathan zubenannten Werkes, bei welchem man auf der in der Zeichnung ersichtlichen Treppe zu dem nach Herschel's Konstruktion angebrachten Okulare gelangt.

Wie man aus der Zeichnung sieht, kann dieses Teleskop, das seit 1867 in der Hand des Sohnes, seines Erbauers, weitere schätzenswerte Früchte trug, in vertikaler Richtung vom Horizonte bis zum Zenithe bewegt werden, hingegen im horizontalen Sinne nur über den Raum zwischen den zwei Mauern, etwa $1^1/_2$ Stunden rechts und links vom Meridiane verfügen: eine Beschränkung, die bei dem erstaunlichen Gewichte (10 400 kg) der zu bewegenden Teile des Instrumentes an sich nur zu begreiflich ist. Indessen werden wir weniger schwer zu handhabende und doch unbeschränkten Spielraum, sowie mehr Stabilität bietende, namentlich durch Grubb, Browning u. A. ausgeführte Montierungen großer Reflektoren als Triumphe der heutigen Mechanik weiter unten bei den Äquatorialen kennen lernen.

Fig. 114.



Um das Jahr 1860 verfiel L. Foucault auf die Idee, die Objektiv-Spiegel aus Glasflächen zu bilden, die man auf chemischem Wege versilbert. Da ein solcher Silber-Spiegel gegen einen gewöhnlichen Metallspiegel beiläufig zweimal mehr Licht (nämlich 0·8 der einfallenden Strahlen) reflektiert, während er viel weniger wiegt, da ferner im Falle des Anlaufens eine neue Versilberung ohne alle Schwierigkeit und ohne irgend welche Gefahr für die richtige Gestalt des Spiegels stattfinden kann, so hätte man eine rasche Verbreitung dieses Verfahrens hoffen sollen, die indessen nicht eintrat. Das erste größere Teleskop dieser Art befindet sich an der Sternwarte zu Marseille und hat 80 cm Öffnung mit 4·8 m Brennweite und Newton'schem Okulare. Die beiden größten jetzt vorhandenen Spiegelteleskope wurden, das eine von 122 cm Öffnung und 9·8 m Fokallänge mit einfachem Metallspiegel (4 Teile Kupfer auf 1 Teil Zink) und Cassegrain'schem Okulare 1868 von Th. Grubb in Dublin der Sternwarte zu Melbourne

(Australien), das andere 1875 mit nach Foucault's Methode versilbertem Glasspiegel von 127 cm Öffnung, und 7·3 m Brennweite nach Newton'scher Konstruktion von Martins für die Sternwarte von Paris geliefert.

Die Frage, ob die dioptrischen oder katoptrischen Teleskope vorzuziehen seien, ist noch unentschieden. Die immerwährenden Änderungen in der Reflexionsfähigkeit der Spiegel einer-, sowie die große Verschiedenheit in der Durchsichtigkeit des Glases andererseits und überhaupt atmosphärische Einflüsse machen solche Vergleichungen sehr schwierig. Nach einer Zusammenstellung von T. W. Webb sei erwähnt, daß Maskelyne die Öffnungen von Reflektoren und Refraktoren gleicher Lichtstärke schätzte, wie 8 zu 5. Dawes läßt dies für Gregorianer gelten, giebt aber so wie J. Herschel für Newtonianer das Verhältnis 7 zu 5. Steinheil und besonders Arago schreiben den Refraktoren weit mehr Licht zu. Buffham findet versilberte Glasspiegel von 23, 16·5, 11·5 cm Durchmesser beziehungsweise gleich lichtstark mit Achromaten von 20·3, 13·5, 10 cm Öffnung. Nach Foucault und Dawes soll ein Refraktor von 66 cm Öffnung noch 0·2" erkennen lassen, worunter Dawes sich die gegenseitige Distanz zweier Sterne 6. Größe denkt. Damit stimmt die Angabe amerikanischer Astronomen, welche die optische Kraft des großen Melbourner Reflektors (122 cm Durchmesser) der des Washingtoner Refraktors (66 cm Öffnung) ziemlich gleich erklären. Merkwürdige, die Unsicherheit solcher Vergleichungen bezeugende Varianten lernten wir in der II. Abteilung mehrfach kennen, unter anderem § 120, § 191 Nr. 9, 25, 32 u. s. w.

§ 7. (Anwendung der Fernrohre bei Meßinstrumenten.) Nur wenige Jahre nach der Erfindung der Fernrohre wurden dieselben, wie zu erwarten war, schon auf den Himmel angewendet. Galilei hatte, wie man sagt, auf eine unbestimmte Nachricht von dieser Erfindung die Zusammensetzung des Fernrohrs erraten und mit dem ersten von ihm verfertigten schon im Jahre 1610 die Thäler und Berge des Mondes, die Satelliten Jupiters, die Sonnenflecken und ihre Bewegungen, sowie die Phasen der Venus aufgefunden. Die meisten dieser ebenso unerwarteten, als für ihn ruhmvollen Entdeckungen machte er in seinem Werke: Nuntius sidereus, Venedig 1610, bekannt, wofür er von der Republik Venedig eine dreifache Erhöhung seines Gehaltes und von Cosmus II. in Florenz ein Geschenk von 1000 Dukaten erhielt. Nahe 30 Jahre noch (er starb erst 1642 im 78sten Jahre seines Alters) genoß er die Freude, die Grenzen der Wissenschaft und unserer Kenntnis des Himmels erweitert zu haben.

Allein dieser Gebrauch der neu erfundenen Fernrohre war nicht der einzige und selbst nicht der wichtigste, den die Astronomie von diesen Werkzeugen machte. Bisher hatten sie uns neue oder vielmehr so lange unbekannte Gegenstände des Himmels vor die Augen geführt, oder sie hatten uns die Oberfläche der bisher nur im allgemeinen bekannten Himmelskörper, wie die des Mondes, der Venus u. s. w., näher kennen gelehrt. Aber unsere Messungen der Größen und

der Lagen der Himmelskörper blieben immer noch denselben Unvollkommenheiten unterworfen, über welche schon die alten Griechen und Araber sich zu beklagen hatten. So lange wir uns mit den Absehen begnügen mußten, wie sie bei den älteren Instrumenten angebracht waren oder auch mit einem bloßen Rohre, an dessen einem, dem Okular-Ende, eine kleine Öffnung und an dem anderen ein Kreuzfaden war, so lange konnte man auch bei dem bestgeteilten Instrumente nicht genauer beobachten oder messen, als man eben mit freien, unbewaffneten Augen zu sehen imstande war. Sobald aber dieses hohle Rohr mit zwei Glaslinsen versehen und in ein eigentliches Fernrohr verwandelt war, durfte man nur das zu messende Gestirn in den Mittelpunkt dieses an dem Instrumente angebrachten Fernrohrs führen, und die Beobachtung desselben mußte offenbar schon desto genauer sein, je stärker die Vergrößerung und die Deutlichkeit war, mit welcher das Fernrohr die Gegenstände zeigte.

Auf diese Weise bedienten sich auch die ersten Astronomen des Fernrohrs bei ihren Beobachtungen, durch welche sie die Lage der Gestirne am Himmel anzugeben suchten: dies ließ aber noch manches zu wünschen übrig. Zwar sah man jetzt die Gestirne viel besser, aber da man sie in dem Mittelpunkte des Gesichtsfeldes beobachten mußte, der nicht ausgezeichnet war, sondern gleichsam nur erraten oder geschätzt werden mußte, so waren selbst bedeutende Beobachtungsfehler nicht wohl zu vermeiden, besonders wenn das kreisrunde Feld der Fernrohre, wie dies bei den früheren Instrumenten der Fall war, einen größeren Umfang hatte. Aus dieser Ursache wollte auch einer der vorzüglichsten praktischen Astronomen jener Zeit, Hevel in Danzig, diese neuen Instrumente bei seinen Beobachtungen gar nicht anwenden, und er ging, durch den Widerspruch der anderen gereizt, sogar so weit, daß er die Fernrohre als ganz unbrauchbar bei den Beobachtungen erklärte, weil sie, wie er sagte, den Ort der Gegenstände, die man durch dieselben betrachtet, verschieben, sodaß man sie durch das Fernrohr an einer ganz anderen Stelle, als mit freien Augen sehen soll!

Ein Mittel, die Gestirne durch das Fernrohr genauer zu pointieren als durch die bisherige, unbestimmte Einstellung derselben in den Mittelpunkt des Feldes, mußte also noch gefunden werden, wenn es die eigentlichen astronomischen Beobachtungen wesentlich fördern sollte. Es ist auffallend, daß dieses Mittel, das uns jetzt so nahe zu liegen scheint, so lange verborgen bleiben konnte.

Wenn man nämlich einen Gegenstand, z. B. einen Faden, in die Nähe des Brennpunktes F (Fig. 111, S. 879) der beiden Linsen eines Kepler'schen Fernrohrs bringt, das sich hierzu allein eignet, so sieht man denselben durch das Okular bb' desto reiner und schärfer, je näher er jenem Brennpunkt gebracht wird. Stellt man nun das Fernrohr so, daß irgend ein terrestrisches Objekt, z. B. die wohlbegrenzte Ecke einer Mauer, den Faden eben berührt; bewegt man dann das Auge vor dem Okulare so weit als möglich rechts und links oder auf und ab und bleibt der Faden in allen diesen Lagen des Auges immer in gleicher Lage

zum Objekte, so ist dies eben das beste Zeichen, daß der Faden selbst im Brennpunkte des Fernrohrs, d. h. in demjenigen Orte desselben steht, wo von der vorderen, größeren Linse des Fernrohrs das kleine Miniaturbildchen des Objektes entworfen wird, von dem wir oben gesprochen haben. Was aber hier von dem terrestrischen Objekte gesagt ist, gilt auch von den Gestirnen. Hat man daher durch diesen Brennpunkt in einer auf die Achse EAO der beiden Linsen senkrechten Ebene zwei Fäden gespannt, die sich unter rechten Winkeln durchkreuzen, so hat man eben durch den Durchschnittspunkt der beiden Fäden einen festen und unveränderlichen Punkt des Feldes, mit welchem man die Lage der zu beobachtenden Sterne bequem und sicher vergleichen kann, indem man nämlich bei jeder Beobachtung durch eine angemessene Bewegung des Fernrohrs den Stern nur immer in diesen Durchschnittspunkt der beiden Fäden zu bringen sucht.

Diese einfache, aber folgenreiche Idee hat zuerst Gascoigne in England gehabt und ausgeführt. Aus den Briefen an seine Freunde Crabtree und Horrox, die vom Jahre 1640 datieren, folgt, daß er schon damals ein mit Fäden versehenes Fernrohr zunächst für Messuug von Planetendurchmessern u. dgl., also in der Anwendung des Fadennetzes als Mikrometer (s. unten § 38) gebraucht, und daß er auch schon, um diese Fäden bei Nacht zu sehen, das Innere des Fernrohrs beleuchtet habe. Horrox, der schon vor seinem 25sten Jahre (im Jahre 1641) starb, war selbst ein ausgezeichnetes astronomisches Talent und bekannte bei mehreren Gelegenheiten seine Bewunderung der mannigfaltigen schönen Erfindungen, die Gascoigne in der Kunst, zu beobachten, gemacht hatte. Auch der letztere wurde den Wissenschaften durch den Tod noch in der ersten Blüte seines Alters entrissen. Er fiel in seinem 23sten Jahre in der Schlacht von Marston Moor, die Cromwell den königlichen Truppen lieferte. Man hat jene Erfindung dem französischen Astronomen Picard vindizieren wollen, der allerdings schon 1634 von der Anwendung des Fernrohrs auf die Quadranten sprach und als er längere Zeit nachher beide wirklich in Verbindung brachte, sich 1669 sehr darüber verwunderte, als es ihm dadurch gelang, Sterne auch bei Tage zu sehen [was übrigens schon viel früher J. Gautier in Aix (1611), Schickard und Curtius (1632), J. B. Morin (1634), Martin Hortensius u. A. gelungen war], aber nicht im geringsten der Fäden im Brennpunkte des Rohrs erwähnte. Selbst die Sonnenbeobachtungen Picards vom Jahre 1667, die ersten, die in Frankreich an einem mit einem Fernrohr versehenen Quadranten gemacht worden sind, erwähnen dieser Fäden nicht ausdrücklich, wenigstens nicht in der Relation, die Lalande in seiner Astronomie (§ 2310) davon gegeben hat.

Wohl aber kann man annehmen, daß Picard im Vereine mit Auzout, beiläufig um 1667, zuerst die Fäden mit den äußeren Teilungen der Instrumente in Verbindung brachte. In dieser Einrichtung müssen die großen Vorzüge gesucht werden, welche die neueren Beobachtungen vor denen der Alten so sehr auszeichnen, und ohne welche alle jene an sich so bewunderungswürdigen Verfeine-

rungen, mit welchen unsere gegenwärtigen astronomischen Instrumente in Beziehung auf ihre Konstruktion und auf ihre Teilung ausgestattet sind, ohne allen Erfolg geblieben wären. Denn diejenigen Fehler, welche aus bloßen Einstellungen in die Mitte des Gesichtsfeldes eines Fernrohres entstanden, waren viel größer als die, welche auch zu jener Zeit aus der fehlerhaften Teilung oder der unzweckmäßigen Einrichtung in dem Baue der Instrumente entspringen konnten. Mit Recht kann man daher sagen, daß die heutigen Beobachtungen ihre sie in so hohem Grade auszeichnende Genauigkeit vorzüglich dieser Erfindung verdanken, und daß dieselbe in der Geschichte der beobachtenden Astronomie eine neue und zwar eine sehr glänzende Epoche begründet.

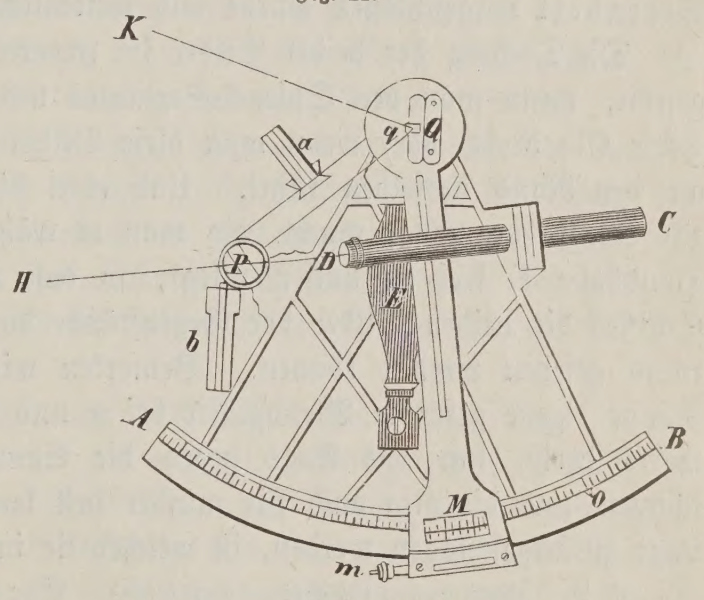
Zu diesen Fäden aber eignen sich diejenigen, welche die Natur durch Spinnen weben läßt, ganz besonders, und dieselben haben bisher noch immer den Vorrang vor Erzeugnissen der Kunst behauptet. Die Eigenschaften, auf welche sich dieser Vorzug gründet, sind hauptsächlich: außerordentliche Feinheit, völlig gleiche Dicke, genau geradlinige Begrenzung, Freiheit von aller Biegung durch Torsion, vollkommene Biegsamkeit und verhältnismäßig sehr große Zähigkeit, welche die nötige Spannung erlaubt. Merkwürdig ist dabei der Umstand, daß diese so äußerst zarten Gegenstände, obschon sie gerade im Brennpunkte des Objektives, also dort stehen, wo andere Körper, wenn die Linse vor die Sonne gebracht wird, sich sofort entzünden, bei Sonnenbeobachtungen keine Veränderungen erleiden. Ob diese überraschende Erscheinung nur überhaupt der Dünne dieser Fäden zuzuschreiben oder ebenfalls irgend einer besonderen Eigentümlichkeit der Materie des Spinngewebes, z. B. einer ungewöhnlichen Wärmeleitungsfähigkeit zu verdanken sei, ist noch nicht hinreichend untersucht. Man verwendet übrigens zu jenen Fadennetzen nicht das Gespinst, welches die Spinnen als Fanggarn verfertigen, sondern die Hülle, welche sie um ihre Eier spinnen, und wählt dann nach Umständen das Produkt verschiedener Arten, die eben am häufigsten vorkommen. Auch der Cocon und die Fäden der gemeinen Stubenspinne (Tegenaria domestica) sind dazu zu brauchen, nur soll man in letzterem Falle den Faden unmittelbar aus der Spinne ziehen, indem man sie fallen läßt und den dabei entstehenden Faden z. B. um eine Gabel wickelt.

§ 8. (Hadleys Spiegel-Sextant.) Nach diesen über das Fernrohr vorausgeschickten Bemerkungen wollen wir die Besprechung der jetzt gebräuchlichen Instrumente mit einem beginnen, das weniger auf ständigen Sternwarten und von den eigentlichen Astronomen, als vielmehr von Seefahrern, Reisenden und Freunden der Astronomie überhaupt gebraucht wird. Es ist dies der Spiegel-Sextant, der 1730 von Thomas Godfrey, einem Glaser in Philadelphia, und 1731 unabhängig von diesem auch von John Hadley, einem reichen englischen Gutsbesitzer, nach dem er genannt wird, erfunden wurde. J. Hadley war auch der erste, der das Schleifen von Konkavspiegeln zu einer gewissen Vollendung brachte und 1723 das erste größere Spiegelteleskop zustande brachte, weshalb er häufig irrigerweise

als ein Instrumentenmacher angegeben wird. Fast gleichzeitig, vielleicht sogar noch etwas früher, konstruierte auch Newton ein Instrument, das auf denselben Prinzipien beruht, wie aus einem Schreiben von Newtons Hand hervorgeht, das man 1742 unter Halleys hinterlassenen Papieren fand.

Der Spiegel-Sextant (Fig. 115) ist bestimmt, den Winkel zwischen zwei Gegenständen in jeder Richtung desselben gegen den Horizont zu messen. Er besteht im allgemeinen aus einem Kreissektor AqO, um dessen Mittelpunkt q sich eine Alhidade qM bewegt, welche bei M einen Vernier und bei q einen senkrecht auf sie befestigten Spiegel trägt, dessen spiegelnde Fläche durch den Mittelpunkt q des Kreissektors geht. Ein anderer, kleinerer Spiegel ist bei P ebenfalls senkrecht auf die Ebene des Instrumentes, parallel mit der Linie qO befestigt, die den Mittelpunkt q des Sextanten mit dem ersten oder dem Anfangspunkte O des eingeteilten Randes AB verbindet, so daß seine Ebene mit der des Spiegels q parallel ist, wenn die Alhidade QM des letzteren so gestellt wird, daß deren Index M durch den Anfangspunkt O der Teilung geht.

Fig. 115.



Die obere Hälfte des kleinen Spiegels P hat kein Amalgam und ist durchsichtig, so daß der Lichtstrahl von einem entfernten Objekte H durch diesen offenen Teil des Spiegels unmittelbar in das Auge C oder in das Fernrohr DC kommen kann. Wird nun die Alhidade QM mit dem daran befestigten Spiegel q so lange gedreht, bis der Strahl von einem zweiten Objekte K in einer solchen Richtung Kq auf den großen Spiegel fällt, daß er von demselben in der Richtung qP auf den unteren Teil des kleinen Spiegels P reflektiert wird, so gelangt er endlich in der Richtung PC in das Fernrohr oder in das Auge C des Beobachters, welches also zugleich das Objekt H direkt durch den durchbrochenen oberen Teil des Spiegels P und das Objekt K durch die von beiden Spiegeln zweimal reflektierten Strahlen in dem Felde des Fernrohrs sieht. Man kann dann der Alhidade QM, nachdem man sie geklemmt hat, durch ihre Mikrometerschraube m noch eine kleine Bewegung geben, durch welche man es dahin bringt, daß die Bilder der beiden Gegenstände H und K sich im Felde des Fernrohrs genau decken oder aufeinander fallen. Da nun bei jedem Spiegel der einfallende Strahl und der zurückgeworfene mit dessen Ebene immer denselben Winkel bilden, und da hier der vom Spiegel Q zurückgeworfene Strahl immer in dieselbe Linie PQ fällt,

so ist der von dem Vernier M der Alhidade vom Anfangspunkte O an durchlaufene Bogen OM gleich der Hälfte des Winkels, welchen die beiden Objekte H und K in dem Auge des Beobachters bilden: denn die Änderung des Winkels zwischen einfallendem und zurückgeworfenem Strahle beträgt immer das Doppelte des Drehwinkels eines Spiegels; hier aber, wo der zurückgeworfene Strahl stets in dieselbe fixe Linie geleitet wird, ist jene Änderung zugleich der Winkel der beiden Objekte im Auge des Beobachters. Aus dieser Ursache beziffern auch die Künstler den Kreisbogen AB so, daß sie jeden halben Grad dieses Kreises schon als einen ganzen bezeichnen, weshalb der an dem Instrumente abgelesene Bogen auch sofort gleich dem gesuchten Winkel HCK ist, welchen die beiden Objekte in dem Auge C des Beobachters bilden.

In unserer Zeit ersetzt man bei den Spiegel-Sextanten den kleineren Spiegel gewöhnlich durch ein Prisma: eine Modifikation, die zuerst von Amici und Steinheil vorgeschlagen wurde und wesentliche Vorteile bietet.

Die Deckung der beiden Bilder im Fernrohre wird offenbar auch dann nicht gestört, wenn man den Spiegel-Sextanten um sein Fernrohr, gleichsam um die Achse CD dreht, oder wenn man diese Bilder aus dem Mittelpunkte des Feldes an den Rand desselben führt. Und eben dies ist es, was dieses Instrument zur See so brauchbar macht, wo man es während der Beobachtung mittelst der Handhabe E frei zu halten pflegt, so daß ungeachtet der Schwankungen des Schiffes die beiden Bilder der Gegenstände doch immer in dem Felde des Fernrohrs gesehen werden können. Bemerken wir noch, daß zur Beobachtung der Sonne eigene gefärbte Blendgläser bei a und b angebracht sind, die man aufwärts dreht, um das Auge gegen die Sonnenstrahlen durch diese Gläser zu schützen, und die also auch für minder hell leuchtende Gegenstände wieder in die Lage zurückgeschlagen werden, in welcher sie in unserer Zeichnung stehen.

§ 9. (Rektifikation des Spiegel-Sextanten.) Ehe wir zur Erörterung der Beobachtungen schreiten, welche mit dem Sextanten ausgeführt werden können, wollen wir noch eine Bemerkung vorausschicken, welche in gleicher Weise für alle Instrumente gilt.

Es wurde bereits mehrfach hervorgehoben, daß kein Instrument ganz fehlerlos aus den Händen des Künstlers hervorgeht, und daß selbst, wenn dies zufällig einmal eintreten sollte, wegen einer Reihe von schädlichen Einwirkungen dieser Zustand nicht von langer Dauer sein könnte. Man soll daher jedesmal, ehe man zu einer Beobachtungsreihe schreitet, sich immer überzeugen, ob alle Bedingungen, denen das Instrument genügen soll, auch thatsächlich erfüllt sind, und wenn dies nicht der Fall ist, diese Fehler auf geeignete Art bestimmen, um sie womöglich wegzuschaffen, und falls dies nicht thunlich ist, in Rechnung ziehen zu können. Diese Operation nennt man berichtigen oder rektifizieren des Instrumentes. So sollen beim Sextanten, wie bei dessen Beschreibung gesagt wurde, beide Spiegel auf der Ebene des Instrumentes senkrecht stehen, und über-

dies, wenn die Alhidade auf Null steht, einander parallel sein. Ist das letztere nicht der Fall, so nennt man diesen Fehler, der nebenbei gesagt der wichtigste des Sextanten ist, Kollimationsfehler.

Um nun diesen Kollimationsfehler zu ermitteln, stelle man die Alhidade in die Nähe des Nullpunktes der Teilung, und sehe durch das Fernrohr auf irgend einen wohlbegrenzten Gegenstand. Mit einer geringen Bewegung der Alhidade wird man dann das unmittelbar durch den oberen Teil des kleinen Spiegels sowohl, als auch das mittelbar durch den großen Spiegel gesehene Bild desselben Gegenstandes in dem Fernrohre erblicken, worauf man beide durch die Mikrometerschraube zur genauen Deckung bringt. Steht in diesem Zustande die Alhidade nicht auf Null, sondern z. B. auf $0^0\ 30'$ des eingeteilten Randes auf der Seite von dem Nullpunkte O nach A, so muß man von allen mit dem Instrumente beobachteten Winkeln diese Größe: $0^0\ 30'$ subtrahieren, um den wahren Winkel zu erhalten. Man wird ihn addieren, wenn die Alhidade auf der anderen Seite zwischen O und B liegt. Kann man aber bei dieser Untersuchung die beiden Bilder desselben Gegenstandes nicht zu genauer Deckung bringen, sondern gleiten sie, wenn man die Alhidade bewegt, über oder neben einander hin, so ist dies ein Zeichen, daß der kleine Spiegel nicht senkrecht auf der Ebene der Teilung steht. In diesem Falle wird man dem kleinen Spiegel durch die unter ihm auf der hinteren Fläche des Instrumentes stehende Schraube die gehörige Neigung gegen diese Fläche geben, bis die beiden Bilder in der That zur Deckung gebracht werden können.

Besser ist es noch, zur Bestimmung des Kollimationsfehlers nicht ein terrestrisches Objekt, sondern die Sonne zu nehmen. Bringt man nämlich die beiden Bilder derselben mit ihrem scharf begrenzten Rande an den entgegengesetzten Seiten dieses Randes zur Berührung und liest man für beide Berührungen den Stand der Alhidade ab, so ist die halbe Summe der beiden Lesungen der Kollimationsfehler und die halbe Differenz derselben gleich dem Durchmesser der Sonne, wodurch man, da dieser aus den astronomischen Ephemeriden bereits bekannt ist, zugleich ein Prüfungsmittel hat, ob die beiden Beobachtungen in der That gut und verläßlich sind.

§ 10. (Beobachtungen mit dem Spiegel-Sextanten.) Der Spiegel-Sextant ist vornehmlich dazu geeignet, die Winkeldistanz zweier Objekte unmittelbar zu messen, die Verbindungslinie derselben mag welche Lage immer am Himmelsgewölbe einnehmen. Um nämlich die Winkeldistanz zweier Gegenstände, z. B. zweier Türme oder Gestirne zu messen, halte man den Sextanten bei seiner Handhabe E mit der rechten Hand so, daß der eine H dieser Gegenstände durch den obern Teil des kleinen Spiegels P unmittelbar in dem Fernrohre CD erscheint, daß also die Achse dieses Fernrohres in die Richtung CDH des einen dieser Gegenstände gebracht wird. Dann drehe man die Fläche des ganzen Instrumentes um dieses Rohr als um seine Achse so lange, bis sie auch durch den andern Gegen-

stand K geht, und in dieser Lage (wo also der erste Gegenstand H immer im Felde des Fernrohrs bleibt) bewege man die Alhidade QM, bis auch der zweite Gegenstand K samt dem ersten im Fernrohre sich zeigt. In dieser Stellung befestige man die Alhidade durch ihre Druckschraube an die Fläche des Limbus AB und bewege sie dann mittelst ihrer Mikrometerschraube m so lange, bis die Bilder der beiden Gegenstände sich in dem Felde des Rohres vollkommen decken. Die Zahl des Teilstriches, bei welchem nun der Vernier steht, giebt, um den Kollimationsfehler verbessert, den gesuchten Winkel der beiden Gegenstände H und K.

Die häufigste Verwendung findet der Sextant zu Höhenbeobachtungen der Gestirne, besonders aber der Sonne, um daraus Polhöhe und Ortszeit des Beobachtungsortes zu ermitteln. Soll nun auf dem Lande die Höhe eines Gestirnes gemessen werden, so braucht man dazu einen sogenannten *künstlichen Horizont*, d. h. eine genau horizontale, spiegelnde Fläche, wozu man gewöhnlich ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß wählt, indem das Quecksilber schon von Natur aus eine wagerechte, spiegelnde Fläche bildet. Dann richtet man das Fernrohr des Spiegel-Sextanten so, daß man damit unmittelbar durch den oberen Teil des kleinen Spiegels das Bild des Gestirns in dem Horizonte sieht, worauf man die Ebene des Instrumentes um das Fernrohr als um eine fixe Achse dreht, bis sie in eine vertikale Lage kommt. Hat man dies erreicht, so bewegt man, indem man immer das von dem künstlichen Horizonte reflektirte Bild des Gestirns im Fernrohre festhält, die Alhidade QM so lange auf oder ab, bis auch das zweite, von dem großen Spiegel und dem untern Teile des kleinen Spiegels reflektierte Bild zugleich mit jenem ersten im Felde des Fernrohrs erscheint, worauf man die Alhidade durch ihre Druckschraube feststellt und durch die Mikrometerschraube m beide Bilder zur *genauen* Deckung bringt. Die jetzt von der Alhidade angegebene Zahl der Teilstriche ist die *doppelte* Höhe des beobachteten Gestirns.

Um den Quecksilber-Horizont vor Luftzug und den dadurch entstehenden, der Deutlichkeit des Bildes schadenden Wellen zu beschützen, bedeckt man ihn mit einem Dache von zwei Glasplatten, deren Flächen genau plan-parallel sind. Statt des Glases kann man auch diejenige Glimmergattung anwenden, die unter dem Namen Frauenglas oder Miroir d'âne bekannt ist, da diese schon von Natur aus in vollkommen planparallelen Blättern spaltet. Künstliche Horizonte, die aus Spiegeln bestehen und mit Libellen horizontal gestellt werden, sind wohl bequemer, aber nie so sicher wie Quecksilber-Horizonte.

Auf dem *Meere* endlich bedient man sich zu diesem Zwecke des Horizontes der See, d. h. derjenigen Linie, welche die Oberfläche des Meeres von dem Himmel trennt, indem man diese Linie mit dem zu beobachtenden Gestirne im Felde des Fernrohrs zur Berührung bringt.

Wie man aus dem eben gesagten ersieht, bedarf man bei Beobachtungen mit dem Sextanten weder einer festen Aufstellung, noch auch irgend einer wie

immer gearteten Orientierung desselben gegen Horizont oder Äquator, kurz, so gut wie gar keiner Vorbereitung. Der Sextant ist auch das einzige Instrument, welches zu seiner Anwendung keines festen unveränderlichen Standes bedarf, sondern frei in der Hand gehalten wird, und eben dieses macht ihn zu einem unentbehrlichen Instrumente für den Seefahrer, um Zeit und Ort seines Schiffes zu bestimmen, und für den Reisenden in unbekannten Ländern, um geographische Aufnahmen auszuführen.

In dieser Beziehung wollen wir zunächst über die Bestimmung der geographischen Breite sprechen, und dazu auf § 18 der Einleitung zurückverweisen. Es wurde dort erörtert, daß die Mittags- oder Kulminationshöhe eines Gestirnes mit seiner Deklination und mit der Äquatorhöhe oder geographischen Breite des Beobachtungsortes (§ 13) in einem sehr einfachen Zusammenhange stehe, daß nämlich, je nachdem die Deklination des Gestirnes nördlich oder südlich ist, die Gleichung stattfindet:

$$\text{Äquatorhöhe} = \text{Höhe} - \text{Deklination für nördl. Dekl.}$$
$$= \text{Höhe} + \text{Deklination} = \text{südl.} =$$

Hat man daher, was wohl immer das einfachste und bequemste bleiben wird, an einem bestimmten Tage die Mittagshöhe der Sonne beobachtet, so erhält man daraus fast ohne jede Rechnung die Breite des Beobachtungsortes, wenn man zur beobachteten Höhe zuerst die aus den Ephemeriden bekannte Deklination der Sonne mit dem entsprechenden Zeichen hinzulegt, und die so erhaltene Äquatorhöhe durch Abziehen derselben von 90° in Polhöhe, oder geographische Breite umsetzt. Habe z. B. der Kapitän eines auf langer Fahrt begriffenen Schiffes am 12. Juni 1894 als Mittagshöhe der Sonne 58° 15′ gefunden, so beträgt die Äquatorhöhe des Schiffes, da die Sonne am Mittage dieses Tages eine nördliche Deklination von 23° 11′ besitzt:

$$\text{Äquatorhöhe} = 58^\circ\,15' - 23^\circ\,11' = 35^\circ\,4'$$
$$\text{also: geogr. Breite} = 90^\circ - 35^\circ\,4' = 54^\circ\,56'$$

Was ferner die Ortszeit betrifft, ist die Bestimmung derselben nicht nur für den Seefahrer und Reisenden wichtig, sondern auch eines der wichtigsten Geschäfte des praktischen Astronomen. Denn die Gestirne ändern sowohl durch die tägliche Bewegung des Himmels, die allen gemeinschaftlich ist, als auch durch die eigene Bewegung, die einige besitzen, ihre Lage gegen das Auge des Beobachters unaufhörlich: es ist daher nicht genug, daß der Astronom z. B. bloß die Höhe eines Gestirnes, wenn auch mit der größten Genauigkeit, angibt: er muß, soll die Beobachtung vollständig sein, auch die Zeit, in welcher er jene Höhe genommen, ebenso genau hinzufügen. Allein nicht bloß aus diesem Grunde, sondern auch deshalb ist dem Astronomen eine genaue Kenntnis der Zeit unentbehrlich, weil die Verwaltung des Zeitdienstes für das öffentliche Leben schon seit langem in seine Hände übergegangen ist. Da überdies eine genauere Kenntnis der Zeit

für jeden notwendig ist, dessen Geschäfte auf irgend eine Art genau an dieselbe gebunden sind, überhaupt aber jedem Gebildeten willkommen ist, wollen wir gleich hier die hauptsächlichsten Methoden der Zeitbestimmung zusammenstellen, und auch eine Reihe von Hilfsmitteln anführen, die man ersonnen hat, dem Laien die Bestimmung der Zeit, oder was auf dasselbe hinauskommt, der Korrektion seiner Uhr, möglichst bequem zu machen.

§ 11. (Zeitbestimmung im allgemeinen.) Die älteren Astronomen verwendeten zur Bestimmung der Zeit vornehmlich Armillarsphären (§ 3). Zu diesem Zwecke richtete man an der im Meridian aufgestellten Armillarsphäre den Deklinationskreis CD (Fig. 108 S. 872) auf irgend einen größern, in seiner Rektascension schon bekannten Fixstern, wodurch man sofort den Stundenwinkel dieses Sterns auf dem Äquatorialring AB ablesen konnte. Die Summe des so erhaltenen Stundenwinkels und der Rektascension des Sterns gab dann sofort die Sternzeit der Beobachtung (Einl. § 23), woraus man leicht (I, § 97) auch die mittlere Sonnenzeit derselben finden konnte. Am einfachsten war dieses Verfahren, wenn man statt eines Fixsterns unmittelbar die Sonne wählte, weil dann der an dem Äquatorialringe AB abgelesene Stundenwinkel der Sonne auch sofort die wahre Sonnenzeit der Beobachtung (I, § 94) gab.

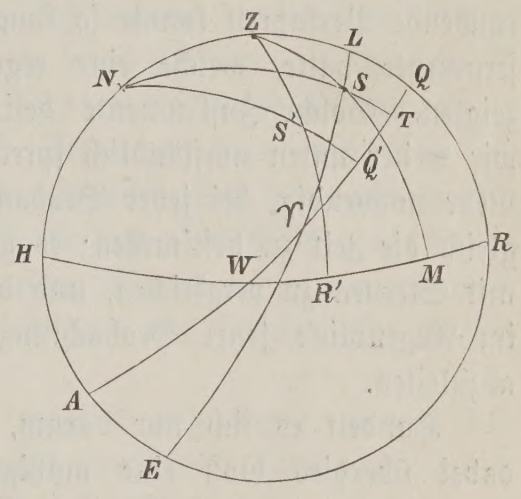
Da aber die Armillarsphäre weder in ihrer Konstruktion noch in ihrer Aufstellung eine große Genauigkeit gewähren kann, so wird auch die Bestimmung der Zeit durch dieses Instrument keiner großen Schärfe fähig sein. Aus diesem Grunde war man schon in den älteren Zeiten auch auf andere Mittel bedacht, dieselbe mit mehr Verläßlichkeit zu bestimmen. Das beste Mittel zu diesem Zwecke giebt aber die Veränderlichkeit der Höhe der Gestirne. Während des täglichen Umlaufes jedes Sterns um die Erde kommt derselbe in alle die verschiedenen Höhen, in die er überhaupt, nach der Lage seines Parallelkreises gegen den Horizont des Beobachters, kommen kann, und so wie zu jedem Stundenwinkel desselben eine bestimmte Höhe gehört, so wird auch umgekehrt jeder gegebenen Höhe ein bestimmter Stundenwinkel, d. h. eine bestimmte Zeit entsprechen: man kann daher die letzte finden, wenn die erste durch irgend eine Beobachtung gegeben ist, und zwar auf folgende Art.

Sei (Fig. 116) S die Sonne für den Augenblick jener Beobachtung, deren Zeit man bestimmen will; sei ferner Z das Zenith und N der Nordpol des Äquators. Wenn man die Höhe SM der Sonne über dem Horizonte HR beobachtet hat, so kennt man auch die Zenithdistanz ZS derselben, die (Einl. § 8) 90^0 weniger jener Höhe ist. Ebenso ist aber auch aus den astronomischen Ephemeriden die Poldistanz NS der Sonne für diesen Tag bekannt, sowie die Polhöhe HN des Beobachtungsortes, die gleich der geographischen Breite des Beobachters und überdies auch gleich 90^0 weniger ZN ist. Man kennt so im sphärischen Dreiecke NZS alle drei Seiten, und kann daher mittelst der Formeln der sphärischen Trigonometrie auch den Winkel ZNS dieses Dreiecks mit aller

Schärfe berechnen. Dieser Winkel ist aber der Stundenwinkel der Sonne, d. h. die gesuchte wahre Sonnenzeit (I, § 94).

Bei der Bestimmung der Zeit aus Höhenbeobachtungen ist noch folgendes zu beachten. Alle Gestirne, die Sonne mit eingeschlossen, verändern, wenn sie dem Meridiane nahe kommen, ihre Höhe sehr langsam, und in ihm einige Zeit gar nicht: es wäre daher sehr zweckwidrig, aus so wenig von einander verschiedenen Höhen oder gar aus der größten aller, die bekanntlich auf den Meridian selbst fällt, die Zeit des Mittags bestimmen zu wollen. Je weiter aber die Gestirne vom Meridiane entfernt sind, desto schneller ist ihre Höhenänderung, und am schnellsten dann, wenn das Gestirn in der Nähe des Vertikalkreises steht, welcher durch den Ost- und Westpunkt geht, und gewöhnlich Erster Vertikal genannt wird. In dieser Gegend also wird man die Höhe der Gestirne am vorteilhaftesten beobachten, wenn man aus ihr die Zeit finden will.

Fig. 116.



Kann man zur Bestimmung der wahren Zeit die Sonne nicht benützen, sondern muß man dazu einen bekannten Stern beobachten, wozu man öfter gezwungen ist, z. B. wenn man den Augenblick einer zur Nachtzeit angestellten Beobachtung ermitteln will, so stellt sich die Sache folgendermaßen dar.

Es sei $\gamma Q'$ die Rektascension und NS' die Poldistanz des gewählten Sternes S', und es stehe zur Zeit der Beobachtung dieses Sternes die Sonne im Punkte S der Ekliptik EL, so ist γS die Länge der Sonne und γT ihre Rektascension, welche man aus den astronomischen Ephemeriden auch kennt. Beobachtet man nun die Höhe $S'R'$, oder was dasselbe ist, die Zenithdistanz ZS' des Sternes, so wird man in dem Dreiecke NZS', in welchem wieder alle drei Seiten gegeben sind, ganz wie zuvor, dessen Stundenwinkel ZNS' d. h. den Bogen QQ' des Äquators durch Rechnung finden. Da man aber offenbar hat

$$TQ = \gamma Q - \gamma T \text{ oder } TQ = QQ' + \gamma Q' - \gamma T,$$

so erhält man die gesuchte wahre Sonnenzeit, d. h. den Stundenwinkel TNQ der wahren Sonne durch folgende Gleichung:

Wahre Zeit = Stundenwinkel + Rektascension des Sterns − Rektascension der Sonne.

Setzt man, was für die Berechnung bequemer ist, in dem letzten Gliede dieser Gleichung nicht die Rektascension der wahren, sondern die Rektascension der mittleren Sonne (I, § 95), so erhält man auch statt der wahren Sonnenzeit unmittelbar die mittlere Zeit, und diese letztere ist es, in welcher die jetzigen Astronomen die Epochen ihrer Beobachtungen anzugeben pflegen.

Tycho, der Erste, welcher auf eine größere Schärfe in der Zeitbestimmung drang, bediente sich zu den Höhenbeobachtungen seiner großen und für jene Zeit sehr genauen Quadranten, durch welche er die Höhen auf etwa 1', also auch die Zeit selbst mit viel größerer Präzision erhielt, als es durch Hilfe der Armillarsphären möglich gewesen wäre.

Die älteren Astronomen mußten für jede wichtigere Beobachtung eine derartige Zeitbestimmung vornehmen, da sie keine Mittel besaßen, größere Zeitintervalle in kleinere und gleiche Teile zu teilen. Jede Beobachtung, die sie machten, war daher eigentlich eine doppelte, nämlich zuerst die eigentliche Beobachtung, z. B. des Anfanges einer Finsternis an einem Instrumente und dann an dem anderen Instrumente die Bestimmung der Zeit, welche ziemlich umständliche Rechnungen erforderte und überdies noch in demselben Augenblicke mit jener ersten Beobachtung angestellt werden sollte, wodurch nicht nur zwei Instrumente, sondern auch zwei Beobachter notwendig wurden. Dieses mühsame und zeitraubende Verfahren konnte so lange nicht vermieden werden, als man keine Instrumente hatte, welche eine regelmäßige und völlig gleichförmige Bewegung zeigten. Solche Instrumente besitzen wir heute in unseren Uhren, von denen wir weiter unten umständlich sprechen werden. Mit ihrer Hilfe ist es nun nicht mehr notwendig, bei jeder Beobachtung einer Erscheinung am Himmel auch zugleich die Zeit zu bestimmen; es genügt schon, die Uhr öfter mit der Sonne oder mit Sternen zu vergleichen, und daraus bloß den Stand, d. i. deren Korrektion im Augenblicke jener Beobachtung, auf eine später (§ 20) zu besprechende Art abzuleiten.

Handelt es sich nur darum, die Zeit des Mittages zu finden, und wird dabei überdies bloß eine mäßige Genauigkeit gefordert, so ist der einfachste Apparat hierzu zweifellos der Gnomon, den wir schon mehrmals (I, § 23, IV, § 2) erwähnt haben. Er besteht seiner ursprünglichen Form nach in einem geradlinigen, auf horizontalem Boden mittelst eines Bleilotes senkrecht aufgestelltem Stabe. Wird ein solcher den Sonnenstrahlen ausgesetzt, so läuft sein Schatten auf der horizontalen Ebene um ihn herum, und wird desto kürzer, je näher die Sonne an dem Meridiane oder an der Zeit dem Mittage ist. In gleichen Entfernungen von dem Mittage, eines gegebenen Tages, z. B. 3 oder 4 Stunden vor und nach demselben, hat der Schatten gleiche Länge und steht auch zu beiden Seiten des Meridians gleich weit von ihm ab: er macht also vor und nach dem Mittage mit der Mittagslinie (Einl. § 7) gleiche Winkel.

Diese wenigen Bemerkungen reichen hin, die Mittagslinie zu konstruieren. Man ziehe nämlich aus dem Fußpunkte der Stange, als aus einem Mittelpunkte, mittelst einer daselbst befestigten Schnur mehrere konzentrische Kreise von verschiedenen Halbmessern, und bemerke in der Peripherie eines jeden Kreises diejenigen 2 Punkte, die vor und nach dem Mittage von dem Endpunkte des Schattens getroffen werden. Halbiert man dann in jedem Kreise den zwischen

diesen Punkten enthaltenen Bogen, und vereinigt man die so gefundenen Punkte mit dem Fußpunkte der Stange durch eine auf dem horizontalen Boden gezogene gerade Linie, so ist diese die Mittagslinie, und so oft in künftigen Tagen der Schatten der vertikalen Stange auf diese Mittagslinie fällt, bezeichnet dieser Augenblick den des wahren Mittags an diesem Tage. Eigentlich würde schon ein einziger jener Kreise zu diesem Zwecke genügen; die anderen sind auch nur gezogen worden, um dadurch den Versuch wiederholen, und sich von der Genauigkeit der Ausführung überzeugen zu können. Die verschiedenen Mittagslinien, die jeder dieser Kreise giebt, sollen nämlich alle auf eine und dieselbe Gerade fallen, und wenn wie dies gewöhnlich der Fall ist, da sich das Schattenende der Stange nicht ganz genau beobachten läßt, diese Linien unter einander etwas abweichen, so wird man unter ihnen das Mittel nehmen. Am sichersten wird man solche Bestimmungen zur Zeit der Solstitien (Einl. § 11) machen, weil da die Deklination der Sonne sich am wenigsten ändert.

Die eben auseinandergesetzte Methode der Bestimmung der Zeit des Mittags ist zwar einfach genug, und auch die Anschaffung eines Gnomons in jedermanns Bereiche. Allein die Aufstellung desselben im Freien setzt diese Vorrichtung zu vielen Veränderungen durch Wind, Witterung, Störungen durch Menschen und Tiere ꝛc. aus, als daß sie für längere Zeit mit Sicherheit gebraucht werden könnte. Für einen oder einige Tage aber läßt sie sich ohne Mühe und Kosten errichten, um dadurch den Stand und Gang einer Uhr für diese wenigen Tage kennen zu lernen, und dann mit Hilfe dieser sich etwa auf folgende Art die Bestimmung der Mittagszeit zu sichern.

Setzen wir, um die Sache so einfach als möglich vorzutragen, voraus, daß man in seiner Wohnung ein Fenster habe, das wenigstens nahe nach Süden geht, so daß dasselbe von der Sonne im Mittag beschienen wird. Kennt man nun mit Hilfe des Gnomons oder mittelst einer regulierten Uhr an irgend einem hellen Tage den Augenblick des wahren Mittages, so verzeichnet man in diesem Augenblicke den Schatten des Fensterkreuzes oder der Fenstermauer auf dem Boden oder an der Wand des Zimmers, und hat, sobald in künftigen Tagen der Schatten wieder auf diese Linie fällt, stets den Augenblick des wahren Mittages dieses Tages.

Die hier auseinandergesetzte Methode ist übrigens nicht notwendig auf den Meridian beschränkt, sondern kann zu einer Zeitbestimmung in jedem beliebigen Azimute verwendet werden: sie erfordert aber dann die trigonometrische Berechnung des Stundenwinkels aus diesem Azimute, in einer ähnlichen Weise, wie seine oben skizzierte Berechnung aus einer Höhe.

Benötiget man nicht die Sonnenzeit, sondern die Sternzeit, so kann man dieselbe nach einem Vorschlage von Olbers auf eine einfache Weise durch das Beobachten des Verschwindens eines Sternes hinter einem entfernten Turme, oder hinter der Mauer oder dem Dache eines entfernten Hauses und zwar mit

erheblicher Schärfe erhalten, da dessen Verschwinden momentan stattfindet, falls das terrestrische Objekt mindestens einige hundert Meter vom Auge des Beobachters entfernt ist, und die Beobachtung mittelst eines Fernrohres von nur schwacher Vergrößerung erfolgt.

Ein Fixstern, dessen Deklination ungeändert bleibt, verschwindet nämlich stets bei demselben Stundenwinkel hinter dem terrestrischen Objekte, wenn anders das Auge des Beobachters immer dieselbe Lage beibehält, und da der Stundenwinkel, um seine bei einem Fixsterne ebenfalls unverändert bleibende Rektascension vermehret, die Sternzeit der Beobachtung (Einl., § 23) giebt, erfolgt das Verschwinden des Sternes stets zu derselben Sternzeit. Man braucht also diese Sternzeit nur einmal genau zu bestimmen, um sie für jeden anderen Tag sofort zu erhalten. Dabei muß aber, wie gesagt, das Auge des Beobachters sich stets genau an derselben Stelle befinden. Dieser Forderung kann man indes leicht auf verschiedene Arten genügen, beispielsweise schon dadurch, daß man am Fensterstocke einen größeren festen Nagel schief gegen den Horizont so einschlägt, daß das Fernrohr während der Beobachtung in den Winkel, welchen der Nagel mit dem Fensterbalken bildet, frei herabsinkt. In dieser Lage richtet man es dann auf den Turm so, daß das Auge die Stelle, wo das Verschwinden des Sterns statthaben soll, in der Mitte des Feldes erblickt.

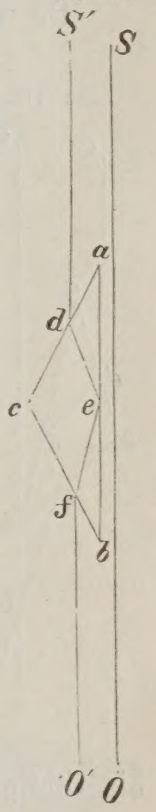
Mit derselben Einrichtung kann man übrigens auch an Uhren beobachten, die nach mittlerer Sonnenzeit gehen, wenn man nur beachtet, daß die mittlere Zeit des Verschwindens des Sternes jeden Tag um $3^m\,55{\cdot}9^s$ früher eintritt (I, § 97) als an dem vorhergehenden Tage. Infolge dessen kommt auch der gewählte Stern, immer früher zu dem terrestrischen Objekte, und wird am Ende durch das schwache Fernrohr unsichtbar. Denn eine tägliche Acceleration von $3^m\,55{\cdot}9^s$ steigt nach einem Monate nahe auf 2, und nach einem halben Jahre auf 12 Stunden. Allein diesem Übelstande läßt sich leicht begegnen, wenn man gleich die ersten Nächte nicht bloß einen, sondern mehrere Sterne beobachtet, deren Verschwindungen eine oder eine halbe Stunde von einander entfernt sind. Wenn dann später auch die letzten dieser Sterne schon zu nahe an den Tag fallen, so verbinde man mit ihnen wieder andere auf dieselbe Weise: in einem Jahre z. B. 15 bis 20 Sterne, so daß jeden Tag im ganzen Jahre wenigstens einer derselben zu angemessener Stunde beobachtet werden kann.

Das Verschwinden heller Sterne hinter terrestrischen Gegenständen bietet, nebenbei bemerkt, auch das einfachste Mittel dar, Sterne bei Tage am Himmel wahrzunehmen. Man braucht dazu nur kurz vor der Sternzeit des Verschwindens eines solchen Sternes das Fernrohr auf den Ort zu richten, wo dasselbe stattfindet.

§ 12. (Dent's Dipleidoskop und Steinheil's Passagenprisma.) Ein anderes, sehr einfaches, in allen Fällen, wo nicht gerade die äußerste Schärfe nötig ist, anwendbares Instrumentchen zur Zeitbestimmung ist das von Dent, einem der ausgezeichnetsten Uhrmacher Englands, und Bloxam angegebene Dipleidoskop.

Dasselbe besteht in 3 unter je 2 gleichen Winkeln zu einem Prisma verbundenen planparallelen Glasplatten, deren vordere durchsichtig, deren beide hintere auf ihrer Rückseite amalgamirt sind. Der von der Vorderfläche unmittelbar zurückgeworfene Teil der Sonnenstrahlen giebt ein Bild der Sonne, der durchgelassene läßt nach zweifacher Reflexion an den amalgamirten Platten und nach dem Rückgange durch die vordere Glasplatte ein zweites Bild der Sonne entstehen, das, weil es von doppelter Reflexion herrührt, dem ersten, durch einfache Reflexion erzeugten, entgegengesetzt sich bewegt, wenn die Sonne am Himmel fortrückt. Es läßt sich leicht nachweisen, daß bei solcher Einrichtung beide Bilder zusammenfallen, wenn die Sonne in demjenigen Vertikale steht, der durch die eine amalgamirte Platte geht, an welcher die beiden gleichen Winkel liegen. Da dieses Zusammenfallen vermöge der entgegengesetzten Bewegung beider Bilder, besonders mittelst eines wenn auch nur kleinen Fernrohres, sehr scharf aufzufassen ist, kann man mit dieser einfachen Vorrichtung, wenn man dieselbe etwa auf der Fensterbrüstung fixiert, den Durchgang der Sonne durch den Meridian oder durch einen beliebigen Vertikal recht genau beobachten, und bei einiger Sorgfalt Zeitbestimmungen etwa auf 1^s genau erzielen.

Fig. 117

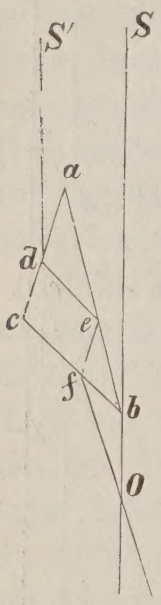


Das Instrument hat indessen das Unangenehme, daß man die beiden Bilder nach abwärts blickend und oft in sehr schiefer Stellung suchen muß. Es ist deshalb bequemer, wenn man nach Steinheil's Vorschlag ein solides Glasprisma abc (Fig. 117) anwendet, längs dessen einer Fläche ab das Auge bei O hinsieht, und das zugleich so geschliffen ist, daß die beiden anderen Flächen mit jener ersten gleiche Winkel bei a und b bilden. Denken wir uns nämlich zuerst, daß von einem sehr entfernten Gegenstande, etwa einem Gestirne, Strahlen parallel zur Fläche ab auffallen und S'd ein solcher Strahl sei, der bei d in das Prisma eintritt. Hier erleidet er eine Brechung, geht in der Richtung de gegen die Fläche ab, wird bei e reflektiert und gelangt in der Richtung ef an die Fläche bc, wo er nach dem Austritte aus dem Prisma in der Richtung fO' fortgeht, die parallel zu S'd ist. Denn da in den Dreiecken ade und efb die Winkel bei a und b vermöge der Voraussetzung, und die bei e als Reflexionswinkel einander gleich sind, müssen auch die dritten Winkel bei d und f einander gleich sein, und hieraus wird man unter Berücksichtigung des Umstandes, daß bei d die Brechung aus Luft in Glas, bei f aber umgekehrt erfolgt, schließen, daß der Winkel O'fb = S'da, also da S'd der Kante ab parallel war, daß auch der austretende Strahl fO' parallel zum eintretenden S'd ist. Ist nun das Auge des Beobachters so gegen das Prisma gerichtet, daß es mit einem Teile der Pupillenöffnung unmittelbar vom Gegenstande kommende Strahlen, wie SO, mit dem andern aber die durch das Prisma gegangenen empfängt, so sieht es das Gestirn direkt und durch das

Prisma zugleich, aber doch nur als ein Bild, weil beide Lichtstrahlen unter sich parallel ins Auge gelangen.

Steht aber das Gestirn nicht genau in der erweiterten Ebene ab, sondern z. B. rechts von dieser Ebene, so werden zwei Strahlen, SO und S'd (Fig. 118), von denen der eine unmittelbar das Auge bei O erreicht, der zweite aber auf das Prisma fällt, nicht unter sich parallel ins Auge gelangen, sondern ihre Richtungen werden einen gewissen Winkel einschließen: das Auge sieht deshalb zwei Bilder des Gestirns, eines in der Richtung OS, das zweite in der Richtung Of, und beide Bilder sind um so weiter von einander entfernt, je größer die Neigung der einfallenden Strahlen gegen die Fläche ab ist.

Fig. 118.



Da es wünschenswert ist, daß beide Bilder nahe gleiche Helligkeit haben, so muß dafür gesorgt sein, dem Auge eine bestimmte Stellung gegen das Prisma anzuweisen, nämlich so, daß die erweiterte Ebene ab die Pupillenöffnung halbiert. Am besten erreicht man dies durch ein kleines Fernrohr, das schon gehörig gegen das Prisma gestellt ist und sich nur parallel zur Ebene ab auf und ab bewegen läßt. Dies leistet die Fig. 119 abgebildete Einrichtung, die Plößl dem Instrumentchen gegeben, das Steinheil Passagenprisma genannt hat.

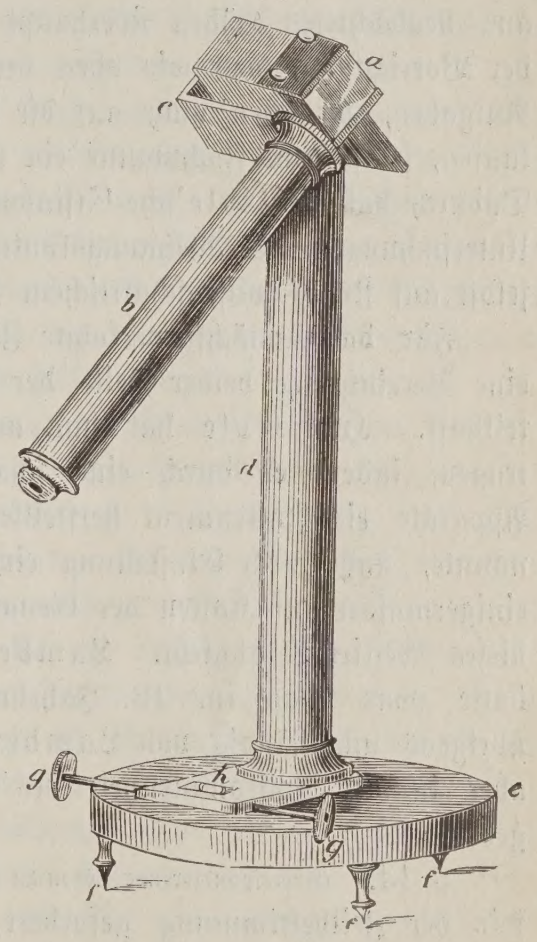
Das Prisma a liegt mit seinen Kanten für mittlere Breiten nahezu der Weltachse parallel, und dessen Reflexionsfläche steht in demjenigen Vertikalkreise, in welchem man zu beobachten beabsichtigt. Das drei- bis viermal vergrößernde Fernrohr b bewegt sich mittelst des Bügels c in der Reflexionsebene des Prisma auf und ab. Zugleich liegt diese Reflexionsebene parallel zur Säule d, welche senkrecht auf der oberen Fläche des Gestells e befestigt ist, so daß das Horizontalstellen der Fläche e sofort auch dem Prisma die richtige Lage in einer Richtung erteilt; zu diesem Behufe sind die Füßchen f des Instrumentes zum Höher- und Niederschrauben eingerichtet. In der anderen, auf jene erste perpendikuläre Richtung wird das Instrument zuerst durch Verschieben auf den Füßchen f rektifiziert, und wenn auf diese Art die gewünschte Lage bereits beiläufig hergestellt ist, werden diese Füßchen in das dazu bestimmte Piedestal unveränderlich eingelassen oder sonst fixiert, und die nun noch nötige Korrektion mittelst der Schräubchen g bewerkstelligt, die einander entgegen auf den im Piedestal festen Stift h wirken. Die Bilder sind bei der heutigen Vollkommenheit der Fernrohre außerordentlich rein, und ihre beiderseitige Berührung, deren Beobachtung der schwer aufzufassenden Deckung der Bilder vorzuziehen ist, mit großer Sicherheit festzustellen.

Behufs Zeitbestimmung muß man die Ebene ab in den Meridian bringen, was am einfachsten dadurch bewirkt wird, daß man das Prisma um seine vertikale

Achse dreht, bis die Deckung der Sonnenbilder im Augenblicke des wahren Mittages stattfindet, und dann, wie oben erläutert ist, in dieser Lage feststellt.

§ 13. (Eble's Zeitbestimmungswerk und Stundenzeiger.) Die bisher beschriebenen Vorrichtungen beschränken die Zeitbestimmung auf einen bestimmten Moment, und zwar, abgesehen von der Methode von Olbers auf den des Mittages, wenn man nicht ziemlich weitläufige Rechnungen ausführen will. Die einfachste, von dieser Beschränkung freie, jeden beliebigen Augenblick ausführbare Methode der Zeitbestimmung bleibt für den Laien immer die, bei welcher man aus einer, außerhalb des Meridianes gemessenen Höhe eines Gestirnes, am bequemsten der der Sonne, die eben stattfindende Stunde auf die § 11 erläuterte Art berechnet. Das geeignetste Instrument hierzu ist der Spiegelsextant (§ 10), und die Beobachtung mit demselben wohl für den Astronomen von Fach einfach genug, bedarf aber immerhin einer ziemlichen Übung, außerdem wird auch die Auflösung eines sphärischen Dreieckes gefordert, die nicht jedermanns Sache ist, und es stellt sich überdies der Preis des Instrumentes für eine allgemeine Verbreitung desselben zu hoch. Es galt also zwei Vereinfachungen auszuführen: einmal Mittel auszudenken, die Höhe des Gestirnes möglichst einfach mit der nötigen Genauigkeit zu ermitteln, und dann die zur Ableitung der Zeit aus der Beobachtung nötige Rechnung möglichst zu erleichtern.

Fig. 119.



In ersterer Beziehung ging man wieder auf das Astrolabium (§ 3) der Alten zurück, verwendete aber nicht mehr Vollkreise, sondern nur Kreisausschnitte, die man deshalb im allgemeinen als Sextant bezeichnet. Es hat nun besonders Eble in Ellwangen an diesen Sextanten gegen frühere Einrichtungen wesentliche Verbesserungen angebracht, überdies aber dadurch seinen Vorgängern den Rang abgewonnen, daß er alte und so zu sagen verschollene Methoden, geometrische Aufgaben graphisch zu berechnen, sehr sinnreich modifizierte, und zu dem hier verfolgten Zwecke in einer Weise benutzte, daß dadurch jede eigentliche Rechnung vollständig umgangen wird. Sein astronomisches Netz ist eine Art von Rechenstab, an welchem man den Stundenwinkel unmittelbar ablesen kann, wodurch alle Schwierigkeit dieses Teiles der Arbeit völlig beseitigt und

dennoch eine Genauigkeit bis auf etwa eine halbe Minute erreicht wird. Die Klarheit der beigegebenen Gebrauchsanweisung und die Billigkeit des Preises vermehrt die Zugänglichkeit dieses nützlichen Apparates, dessen Präzision durch Ausführung in größeren Verhältnissen und auf Metall sich bedeutend steigern ließe.

So sehr aber diese Vorrichtungen, denen Eble den Namen Zeitbestimmungswerk beilegte, allen billigen Wünschen genügten, so fand sich doch sein Streben damit noch nicht zufriedengestellt. An sich hat die abgesonderte Behandlung der beiden hier vorliegenden Aufgaben große Vorzüge, indem sie eine Anwendung des Apparates zu dem vom Erfinder zunächst beabsichtigten Zwecke in allen geographischen Breiten zuläßt, für welche sich die Zeitbestimmung aus beobachteten Höhen überhaupt eignet, und überdies in dem zweiten Teile der Vorrichtung, den wir oben den Rechenstab nannten, für unzählige andere Aufgaben, die eben auch auf die Auflösung eines sphärischen Dreieckes hinauslaufen, selbst dem Fachmanne ein vortreffliches Hilfsmittel zur Verfügung stellt. Dadurch hat die Eble'sche Erfindung für nautische Astronomie, kristallographische Untersuchungen, als Rechnungskontrolle überhaupt u. s. w. unleugbare Bedeutung selbst auf streng wissenschaftlichem Gebiete.

Für das zunächst verfolgte Ziel der Zeitbestimmung aber wäre allerdings eine Vereinigung beider Teile der Aufgabe in eine und dieselbe Operation vorteilhaft. Herr Eble hat nun auch dieser Rücksicht vollständig Rechnung getragen, indem er durch eine scharfsinnige Verbindung der früher getrennten Apparate ein Instrument herstellte, das er Stundenzeiger oder Horoskop nannte, und durch Einstellung eines Diopters auf die Sonne sofort, allerdings einigermaßen auf Kosten der Genauigkeit, den eben stattfindenden Stundenwinkel dieses Gestirnes angiebt. Lambert, einer der ausgezeichnetsten Astronomen, hatte zwar schon im 18. Jahrhundert den Weg, auf welchem Herr Eble, übrigens unabhängig von Lambert, so schöne Erfolge erzielte, betreten, war aber in der Vollkommenheit des Ersonnenen weit hinter Herrn Eble zurückgeblieben.

§ 14. (Korrespondierende Höhen zu Zeitbestimmungen.) Wird eine größere Genauigkeit der Zeitbestimmung gefordert, als die bisher beschriebenen Vorrichtungen liefern können, und will man sich dabei auf die Beobachtung einer einzigen Höhe beschränken, so bleibt nichts übrig, als aus dem Dreiecke NZS' (Fig. 116 S. 901) nach den Vorschriften der sphärischen Trigonometrie den Stundenwinkel ZNS' des Gestirnes im Momente der Beobachtung zu berechnen. Dazu braucht man aber ein gutes, genau gearbeitetes Instrument, um die Höhe mit der nötigen Sicherheit zu erhalten, und muß überdies nicht nur die Polhöhe HN oder 90^0 — ZN des Beobachtungsortes und die Poldistanz NS' des Gestirns, sondern auch noch die Refraktion (I, § 105) genau kennen; und diese Forderungen sind nicht immer so leicht zu erfüllen, als man wohl auf den ersten Blick glauben dürfte.

Von allen derartigen Hindernissen und Schwierigkeiten können wir uns völlig befreien, wenn wir bedenken, daß alle Sterne zu beiden Seiten des Meridians dieselbe Höhe über dem Horizonte in denjenigen beiden Augenblicken haben, wo sie denselben Abstand vom Meridian, d. h. wo sie zu beiden Seiten des Meridians auch gleiche Stundenwinkel haben. Die Sonne steht 3 Stunden vor dem Mittag, d. h. um 9 Uhr wahre Zeit morgens genau eben so hoch, als sie um 3 Uhr wahre Zeit abends steht, wenn anders ihre Deklination in dieser Zwischenzeit unveränderlich angenommen werden kann. Bei den Fixsternen ist dies in der That der Fall; bei der Sonne, dem Monde und den Planeten ist diese Deklination allerdings veränderlich, aber diese Veränderung ist im allgemeinen klein, und es ist leicht, auf sie durch Rechnung Rücksicht zu nehmen, wobei wir uns aber hier nicht weiter aufhalten wollen.

Wenn man also die Sonne an einem Tage zweimal, vor und nach dem Mittage, in der Nähe des Ersten Vertikals so beobachtet, daß sie beide Male dieselbe, übrigens willkürliche Höhe hat, so weiß man, daß zu diesen beiden Augenblicken auch dieselben Stundenwinkel der Sonne gehören, oder mit anderen Worten, daß die erste Beobachtung ebenso weit vor dem wahren Mittage als die zweite nach demselben statt hatte, daß also der gesuchte wahre Mittag genau in die Mitte zwischen jene zwei Augenblicke fallen muß.

Man sieht, daß man zu dieser Bestimmung des Mittags weder die Polhöhe des Beobachtungsorts, noch die Deklination des Gestirns, noch auch die absoluten Höhen selbst und die dazu gehörende Refraktion zu kennen braucht, und daß man bloß von der Gleichheit der beiden Höhen und von dem gleichförmigen Gange der Uhr versichert sein muß, daß also auch zu diesen Beobachtungen der korrespondierenden Höhen, wie man sie zu nennen pflegt, weder eine eigentliche Rechnung noch auch ein vorzügliches Instrument erfordert wird. Denn wenn auch die Einteilung desselben fehlerhaft ist, so werden doch dadurch die Beobachtungen nicht schlechter, da man vor und nach Mittag nur mit demselben Teilstriche zu thun hat, und es überhaupt nicht darauf ankommt, in welchen Höhen man beobachtet hat, sondern nur darauf, daß diese Höhen dieselben sind. Ebenso verhält es sich auch mit fast allen übrigen Fehlern des Instruments, da sie für denselben Punkt des eingeteilten Randes ebenfalls die gleichen bleiben und daher auf das gesuchte Resultat keinen Einfluß haben. Um aber die sogenannten Beobachtungsfehler, d. i. jene Fehler, welche von der Unsicherheit unserer Sinne herkommen, auf ein geringeres Maß herabzudrücken, beobachtet man zu beiden Seiten des Meridians nicht bloß eine, sondern mehrere Höhen der Sonne, und nimmt dann aus den Mittagszeiten, die man aus jedem korrespondierenden Höhenpaare erhält, das arithmetische Mittel, welches offenbar als das Resultat aller beobachteten Höhen verläßlicher sein wird, als dasjenige, das bloß aus einem einzigen Paare derselben abgeleitet worden ist.

Um dies durch ein Beispiel deutlich zu machen, nehmen wir an, man

habe folgende korrespondierende Sonnenhöhen zu den beigesetzten Uhrzeiten beobachtet:

	Uhrzeit der Beobachtung:		
Beobachtete Höhe	Vormittags	Nachmittags	Uhrzeit des Mittags
$43^0\ 15'$	$9^h\ 14^m\ 52{\cdot}0^s$	$2^h\ 49^m\ 40{\cdot}2^s$	$12^h\ 2^m\ 16{\cdot}1^s$
43 20	9 20 43·3	2 43 50·1	12 2 16·7
43 25	9 26 54·8	2 37 37·6	12 2 16·2
43 30	9 33 19·3	2 31 13·5	12 2 16·4

wo man bei den nachmittägigen Zeiten eigentlich 14^h statt 2^h hätte schreiben sollen, um die Angaben der Uhr ununterbrochen fortzuzählen. Die Summe der beiden Zeiten der ersten Höhe $43^0\ 15'$ giebt $24^h\ 4^m\ 32{\cdot}2^s$, und davon ist die Hälfte $12^h\ 2^m\ 16{\cdot}1^s$ die gesuchte Uhrzeit des Mittags aus dieser ersten Höhe. So erhält man die in der letzten Kolumne notierten Uhrzeiten des Mittags aus diesen vier Beobachtungen. Das arithmetische Mittel derselben oder die aus der Gesamtheit der Beobachtungen folgende Uhrzeit ist: $12^h\ 2^m\ 16{\cdot}35^s$, oder die Uhr ging von diesem Tage im Augenblick des wahren Mittags um $2^m\ 16{\cdot}3^s$ gegen die wahre Sonnenzeit voraus.

Will man aber die Zeit nicht, wie es die älteren Astronomen zu thun pflegten, in wahrer, sondern nach dem Gebrauche der jetzigen in *mittlerer Sonnenzeit* angeben, so hat man nur den Unterschied zwischen der wahren und mittleren Zeit, die sogenannte *Zeitgleichung* (I, § 96) hinzuzufügen, die man für den Mittag jedes Tages in den astronomischen Ephemeriden berechnet findet. Gesetzt, diese Zeitgleichung wäre am Tage unserer Beobachtungen $+8^m\ 32{\cdot}7^s$, so heißt dies, daß eine richtig gehende mittlere Uhr im Augenblicke des wahren Mittags jenes Tages $12^h\ 8^m\ 32{\cdot}7^s$ zeigen soll. Allein unsere Uhr zeigte in diesem Moment nur $12^h\ 2^m\ 16{\cdot}3^s$, also ging sie um $6^m\ 16{\cdot}4^s$ gegen *mittlere* Zeit zu spät.

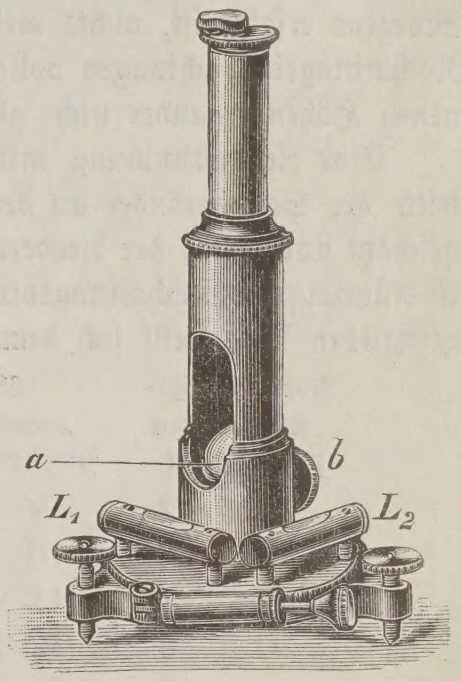
Wäre endlich, was man ebenfalls in den Ephemeriden findet, für den Augenblick des wahren Mittags dieses Tages die *Sternzeit* (I, § 97) gleich $5^h\ 14^m\ 25{\cdot}6^s$, so würde, da unsere Uhr in diesem Augenblicke $12^h\ 2^m\ 16{\cdot}3^s$ zeigte, dieselbe gegen *Sternzeit* um $6^h\ 47^m\ 50{\cdot}7^s$ zu *früh* gehen u. s. f.

Auf der Pariser Sternwarte wurde das Verfahren der korrespondierenden Höhen schon im Jahre 1666 angewendet, wie man aus den Memoiren der französischen Akademie bei Gelegenheit der Finsternis des 22. Juli jenes Jahres sehen kann, wo *Huyghens*, *Roberval* und *Auzout* ihre Zeit mittelst solcher bestimmten. Im vorigen Jahrhundert wendete man aber die Beobachtungen korrespondierender Höhen auch zur Bestimmung der Rektascensionen der Gestirne an. Sowie man nämlich aus ihnen die Korrektion seiner Uhr finden kann, wenn man die Rektascension des beobachteten Sternes kennt, ebenso einfach kann man umgekehrt auch die Rektascension eines Sternes finden, wenn man die Korrektion seiner Uhr bereits ermittelt hat. Denn da die Rektascension eines Sternes be-

kanntlich gleich ist der Sternzeit seiner Kulmination und man die Uhrzeit dieser aus korrespondierenden Höhen findet, braucht man an diese Uhrzeit nur die schon bekannte Korrektion derselben gegen Sternzeit anzubringen, um sofort die richtige Sternzeit der Kulmination oder, was dasselbe ist, die Rektascension des Sternes zu erhalten. Diese Methode wendete noch Lacaille, einer der besten und fleißigsten Astronomen des 18. Jahrhunderts, im Jahre 1755 zur Bestimmung zahlreicher Rektascensionen von Fixsternen und Planeten an.

§ 15. (Kronodeik.) Der Hauptvorwurf, den man der Methode der korrespondierenden Höhen machen kann, besteht darin, daß sie zeitraubend ist und sehr von Zufällen abhängt, die der Beobachter nicht in seiner Gewalt hat. Sie fordert, wenn man vor und nach dem Mittage mehrere Höhen nehmen will, verhältnismäßig viel Zeit, und es geht überdies die ganze Bestimmung verloren, wenn das Gestirn des Nachmittags zur Zeit der Beobachtungen von Wolken bedeckt ist. Da dem Astronomen überdies, wie wir später (§ 26) sehen werden, heutzutage im Mittagsrohre ein Hilfsmittel zu einer nicht nur ungemein expediten und bequemen, sondern auch sehr genauen Zeitbestimmung zu Gebote steht, ist die aus korrespondierenden Höhen auf Sternwarten nicht mehr üblich; dem Laien hingegen bietet sie, trotz ihrer oben hervorgehobenen Mängel immerhin das müheloseste Mittel dar, zu einer genaueren Kenntnis des Standes seiner Uhr zu gelangen. Dies bewog vor nunmehr etwa 10 Jahren den amerikanischen Astronomen Chandler, ein von ihm Kronodeik genanntes Instrumentchen zu ersinnen, dessen Konstruktion die Mechaniker Hartmann und Braun in Bockenheim bei Frankfurt in mancher Beziehung modifizierten, und das nach einigen weiteren von J. Palisa vorgeschlagenen Umänderungen vom Mechaniker Ressel in Wien, in der aus Fig. 120 ersichtlichen Form ausgeführt wird.

Fig. 120.



Darnach besteht das Kronodeik aus einer horizontalen runden Scheibe, auf der sich eine zweite Scheibe um einen Zapfen in ihrer Mitte drehen läßt. Auf der letzteren befindet sich eine, mit einer ziemlich großen Öffnung versehene Hülse, in welche ein kleines vertikal nach unten gerichtetes Fernrohr eingeschoben ist. In dieser Hülse befindet sich unter dem Objektive des Fernrohres ein kleiner Spiegel a, der sich mittelst der Schraube b um eine horizontale Axe drehen läßt. Auf der beweglichen Scheibe sind 2 Libellen L_1 und L_2 angebracht, mit deren Hilfe man sie mittelst dreier Fußschrauben horizontal, beziehungsweise deren Umdrehungsachse vertikal stellt. Im Brennpunkte des Fernrohres befindet

sich ein aus mehreren (gewöhnlich 3) horizontalen, und einem vertikalen Faden bestehendes Fadennetz.

Durch Drehung des Spiegels und der beweglichen Scheibe kann man es leicht dahin bringen, daß die durch die Öffnung der Hülse auf den Spiegel fallenden Sonnenstrahlen in das Fernrohr reflektiert werden, in dem man sodann die Sonne erblickt. Man kann nun des Vormittags, während die Sonne emporsteigt, die Berührung sowohl des oberen als auch des unteren Sonnenrandes an den horizontalen Fäden notieren, und dreht dabei durch die ganze Hülse langsam nach rechts, um den Antritt der Sonne stets an jener Stelle der horizontalen Fäden beobachten zu können, wo sie vom vertikalen gekreuzt werden. Nachmittags wird dann dieselbe Beobachtung bei sinkender Sonne wiederholt, wobei zu bemerken ist, daß man wohl die ganze Hülse dem Laufe der Sonne nachdrehen kann und muß, daß aber an der Spiegelschraube, nachdem der erste Antritt des Morgens erfolgt ist, nichts mehr gerückt werden darf, ehe die korrespondierenden Nachmittagsbeobachtungen vollendet sind, weil sonst die früh und abends gewonnenen Höhen einander nicht gleich wären.

Eine Zeitbestimmung mit einem derartigen Kronodeik, bei welcher die Antritte der Sonnenränder an den 3 horizontalen Fäden bloß auf halbe Sekunden geschätzt sind, samt der diesbezüglichen einfachen Rechnung, behufs deren leichterer Ausführung die Nachmittagsbeobachtungen gleich in umgekehrter Reihenfolge aufgeschrieben sind, stellt sich demnach wie folgt.

Sonnen-Rand	Faden	Uhrzeit der Beobachtung vormittags	Uhrzeit der Beobachtung nachmittags	Uhrzeit des Mittags
Oberer	1	$9^h\ 8^m\ 9{\cdot}5^s$	$2^h\ 53^m\ 31{\cdot}5^s$	$12^h\ 0^m\ 50{\cdot}5^s$
=	2	9 17·0	52 24·0	50·5
=	3	10 29·0	51 13·5	51·3
Unterer	1	11 48·5	49 52·0	50·3
=	2	12 56·0	48 45·5	50·8
=	3	9 14 7·0	2 47 33·5	50·3
			Im Mittel:	$12^h\ 0^m\ 50{\cdot}6^s$

Die Uhr ging also am Mittage dieses Tages um $0^m\ 50{\cdot}6^s$ gegen wahre Sonnenzeit voraus.

§ 16. (Sonnenuhren im allgemeinen.) Nachdem wir uns über den wichtigen Gegenstand der Zeitbestimmung so umständlich verbreitet haben, wollen wir des Zusammenhanges wegen gleich hier die Instrumente besprechen, mittelst deren man den Tag in kleinere Intervalle abteilen und diese sichtbar machen kann, obwohl wir, wie schon erwähnt wurde, später nochmals auf die Bestimmung der Zeit zurückkommen werden. Die eben genannten Instrumente nennt man im allgemeinen Uhren, und das einfachste und älteste derselben, die Sonnenuhr, welche auch heute noch immer das populärste und verbreitetste Mittel der Zeitbestimmung ist, soll schon von Anaximenes aus Milet (530 v. Chr.) erfunden worden sein.

Unsere Erde bewegt sich in einem Sterntage (I, § 93) um ihre Achse von West nach Ost, und zwar, wie wir oben gesehen haben, mit einer völlig unveränderlichen Geschwindigkeit. Wir haben aber bereits früher gezeigt, daß man sich die daraus folgenden Erscheinungen ganz ebenso gut dadurch erklären kann, daß man die Erde ruhend denkt und dafür den ganzen Himmel in derselben Zeit, aber in verkehrter Richtung oder von Ost nach West sich um die Erde bewegen läßt. Nehmen wir diese letztere als die gewöhnlichste und augenfälligste Erklärung an, so würde also die Sonne, wenn sie immer denselben Ort am Himmel einnähme, sowie alle Fixsterne während jedes Sterntages um die ruhende Erdachse die ganze Peripherie eines Kreises zurücklegen. Denken wir uns hinter der Erde, auf der der Sonne entgegengesetzten Seite, irgend eine ebene oder krumme, aber feste und unveränderliche Fläche, so wird der Schatten, welchen die von der Sonne beschienene Erdachse, diese körperlich gedacht, hinter sich wirft, auf diese Ebene fallen und auf ihr weiter gehen, wie die Sonne selbst mit dem ganzen Himmel um die ruhende Erde in ihrer täglichen Bewegung weiter schreitet, und so oft sie in den folgenden Tagen von dem Meridiane eines bestimmten Beobachters wieder dieselbe Entfernung, d. h. so oft die Sonne wieder denselben Stundenwinkel hat, so oft wird auch der Schatten der Erdachse wieder dieselbe Stelle auf jener Ebene einnehmen, sodaß, wenn man nur einmal weiß, welche Stelle er für 1, 2, 3 . . . Uhr einnimmt, man künftig auch immer rückwärts aus dem Orte des Schattens auf die ihm entsprechende Tageszeit schließen wird.

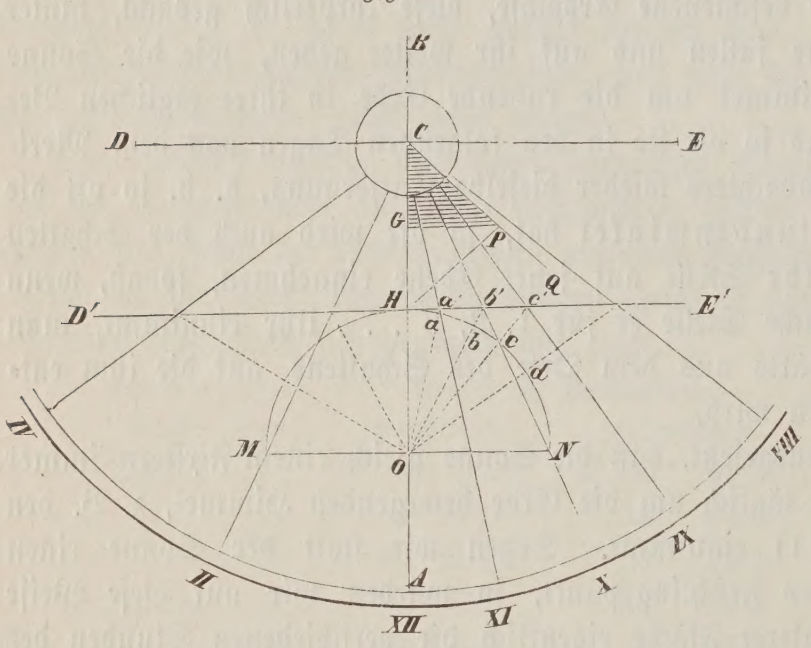
Dabei haben wir vorausgesetzt, daß die Sonne gleich einem Fixstern immer dieselbe Stelle an dem sich täglich um die Erde bewegenden Himmel, z. B. den Frühlingspunkt (Einl., § 11) einnimmt. Setzen wir statt der Sonne einen ebenso hellen Fixstern in den Frühlingspunkt, so würden wir auf diese Weise durch den Schatten auf unserer Fläche eigentlich die verschiedenen Stunden des Sterntages erhalten. Allein die wahre Sonne steht nicht fest unter den anderen Sternen des Himmels, sondern sie bewegt sich täglich nahe 1° gegen Osten. Dadurch wird aber unsere Sache nicht wesentlich geändert. Der Schatten der Erdachse, wie dieselbe von der wahren Sonne beschienen wird, wird noch immer seinen täglichen Weg auf jener Fläche zurücklegen, und er wird auch auf derselben immer wieder dieselbe Stelle einnehmen, so oft die Sonne dieselbe Lage gegen den Meridian des Beobachters einnimmt, d. h. so oft die wahre Sonne in dem Laufe eines jeden künftigen Tages wieder denselben Stundenwinkel hat. Der Schatten der Erdachse auf jener Fläche wird also nicht mehr wie zuvor den Stundenwinkel des Frühlingspunktes oder die Sternzeit, sondern er wird den Stundenwinkel der wahren Sonne, d. h. er wird die wahre Zeit (I, § 94) angeben.

Dies wäre demnach die einfachste und zugleich die sicherste Sonnenuhr, die man haben könnte, und einmal auf jener Ebene die Orte des Schattens der

Erdachse für die verschiedenen Stunden, Minuten und Sekunden des wahren Tages bestimmt, würden wir, so oft dieser Schatten wieder auf eine der so bezeichneten Stellen fiele, sofort auch daraus die wahre Zeit dieses Augenblickes ohne Instrumente, ohne Rechnung durch den bloßen Anblick jener Fläche finden.

Wegen der geringen Größe der Erde gegen die ungemeine Entfernung der Sonne kann man ohne allen merklichen Fehler annehmen, daß die Sonnenstrahlen auf alle Punkte der Erde in unter sich parallelen Richtungen auffallen, und daß es daher in Beziehung auf unsere Absicht gleichviel ist, auf welchem Punkte der Oberfläche der Erde man diese Achse anbringt, wenn man sie nur mit der wahren Achse der Erde vollkommen parallel stellt, sodaß ein einfacher, der Erdachse paralleler Stift genügt, um unsern Endzweck zu erreichen, nämlich um durch den Schatten, den ein solcher Stift auf eine hinter ihm stehende ebene oder krumme Fläche wirft, die wahre Zeit in jedem Augenblicke anzugeben.

Fig. 121.



§ 17. (Horizontaluhr.) Unsere Aufgabe reduziert sich demnach auf folgende zwei Fragen: wie soll man erstens einen geradlinigen Stift so stellen, daß er der Erdachse parallel werde, und wie soll man zweitens auf einer hinter diesem Stifte stehenden Fläche die Orte des Schattens dieses Stiftes für jeden Augenblick der wahren Zeit angeben?

Um die Antworten auf diese Fragen nicht gleich anfangs zu sehr zu komplizieren, wollen wir uns jene Fläche als eine horizontale Ebene, z. B. als ein dem Horizonte parallel gelegtes Tischblatt, denken. Hier wird es sehr leicht sein, unsern Stift auf dem Tische in der durch die erste Frage geforderten Weise aufzustellen. Die Erdachse macht nämlich mit dem Horizonte eines jeden Ortes auf der Oberfläche der Erde einen Winkel, der gleich der Polhöhe oder, was dasselbe ist, gleich der geographischen Breite dieses Ortes ist (Einl., § 13), welche letzte man einer guten Landkarte entnehmen kann. Sei also ABDE (Fig. 121) die erwähnte horizontale Tafel. Man ziehe in ihr, durch irgend einen willkürlich gewählten Punkt C, die zwei unter sich senkrechten Linien AB und DE, und befestige in dem Punkte C der Tafel einen geradlinigen Stift CP über dieser Tafel

so, daß er in der durch die Linie AB senkrecht auf die Tafel-Ebene gelegten Ebene sich befindet und mit der Linie AB einen der Polhöhe des Ortes gleichen Winkel macht. Dann wird dieser Stift der Erdachse parallel stehen, sobald man die horizontale Tafel so stellt, daß die Linie CA genau nach Nord, also auch CD nach Ost, CE nach West und CB endlich nach Süd gerichtet ist, somit die Linie ACB die Mittagslinie (Einl., § 7) des Ortes vorstellt.

Am einfachsten wird sich dieser Stift auf folgende Weise in seine gehörige Lage stecken lassen. Man bilde sich z. B. aus Karton oder Metallblech ein bei G rechtwinkliges Dreieck CGP, dessen einer Winkel bei C gleich der Polhöhe des Ortes ist, und stelle dann dieses Dreieck *senkrecht* auf die Ebene der Tafel so, daß der Scheitel C desselben in den oben gewählten Punkt C der Tafel und daß die Seite CG des Dreiecks in die oben gezogene Linie CA der Tafel fällt. In dieser Lage wird die größte oder die dem rechten Winkel G gegenüberstehende Seite CP die wahre Lage des Stiftes angeben, sodaß man bei dieser Stellung des Dreiecks den Stift nur in die Richtung der Seite PC des Dreiecks bringen und in dieser Lage an der Tafel befestigen darf.

Damit ist also die erste unserer Fragen beantwortet. Um nun zweitens in derselben Tafel die Linien zu finden, auf welche der Schatten des Stiftes fällt, wenn es eben 1, 2, 3 . . Uhr wahre Zeit, zieht man in ihrer Ebene die Linie CQ so, daß sie mit der Linie CA einen Winkel ACQ gleich der Polhöhe des Ortes bildet. Man nehme dann in dieser Linie CQ irgend einen willkürlichen Punkt P, und errichte in diesem Punkte auf die Linie CQ eine Senkrechte, welche die Linie AC in dem Punkte H schneiden soll. Durch diesen Punkt H ziehe man eine auf AC senkrechte, also mit DE parallele Gerade D'E'. Man nehme ferner in der Linie AC von dem Punkte H aus die Linie HO genau so groß, wie jene Senkrechte HP war, und ziehe aus dem so bestimmten Punkte O als aus einem Mittelpunkte mit dem Halbmesser OH den Halbkreis MHN. Teilt man dann die Peripherie dieses Kreises von dem Punkte H aus zu beiden Seiten desselben in 6 gleiche Teile, zieht durch die Teilungspunkte a, b, c . . die Halbmesser Oa, Ob, Oc . . und verlängert dieselben, bis sie die oben erwähnte Gerade D'E' in den Punkten a', b', c' . . schneiden, so hat man nur diese Punkte a', b', c' . . mit dem Punkte C durch die geraden Linien Ca'XI, Cb'X, Cc'IX . . zu verbinden, um die Linien zu erhalten, auf welche der Schatten des Stiftes, der auf die oben erwähnte Weise in der Tafel befestigt wurde, in den Augenblicken fallen wird, wann es 11, 10, 9 . . Uhr wahre Zeit morgens ist. Ebenso erhält man auf der andern Seite von AC die Schattenlinien für 1, 2, 3 . . Uhr abends, und wenn man die Peripherie des Halbkreises MHN, statt wie zuvor in 12, genau in 24 oder 48 gleiche Teile teilt, auch die Schattenlinien für die halben und Viertelstunden zwischen jenen bereits gefundenen für die ganzen Stunden. Hat man die Tafel groß genug gewählt, so wird man selbst noch kleinere Teile der Stunde mit Sicherheit auf ihr eintragen können. Stellt man sie nun

mittelst einer Wasserwage genau horizontal und die Linie AC in die Richtung der Mittagslinie, sodaß C auf der Südseite liegt, so giebt der Schatten des Stiftes CP oder CQ, so oft er von der Sonne beschienen wird, auf der bezeichneten Tafel die wahre Zeit an. Eine solche Sonnenuhr wird eine Horizontaluhr genannt.

Obschon die eben angeführte Verzeichnung einer Horizontaluhr von jedermann leicht ausgeführt werden kann, so giebt es doch eine noch einfachere Art, solche Sonnenuhren zu konstruieren. Auch diese Methode beruht, wie die frühere, auf der Auflösung von zwei ebenen Dreiecken. Da wir aber, dem Zwecke dieser Schrift gemäß, solche Rechnungen nicht als bekannt voraussetzen dürfen, so wollen wir sie durch Hilfe einer bereits voraus berechneten Tafel unsern Lesern ganz entbehrlich machen.

Ist nämlich wieder CDE (Fig. 122) die oben erwähnte horizontale Tafel, so ziehe man, wie dort, durch den willkürlichen Punkt C die Gerade CA und darauf senkrecht die Linie DAE. In der Linie CA errichte man, senkrecht auf die Tafel, das Dreieck GCP, dessen Winkel bei C gleich der Polhöhe ist, und befestige dann in dem Punkte C nach der Richtung der Seite CP den Stift CQ. Endlich teile man die gerade Linie CA in 1000 gleiche Teile und trage auf der Linie DAE zu beiden Seiten von A so viele dieser Teile auf, als die unten stehende Tafel für jeden Stundenwinkel angiebt, wodurch man die Punkte a, b, c . . und a', b', c' . . erhält, die mit C verbunden die gesuchten Schattenlinien Ca, Ca', Cb, Cb' . . der Horizontaluhr geben.

Die eben erwähnte Tafel ist die folgende, welche Kürze halber nur über Mittel-Europa sich erstreckt.

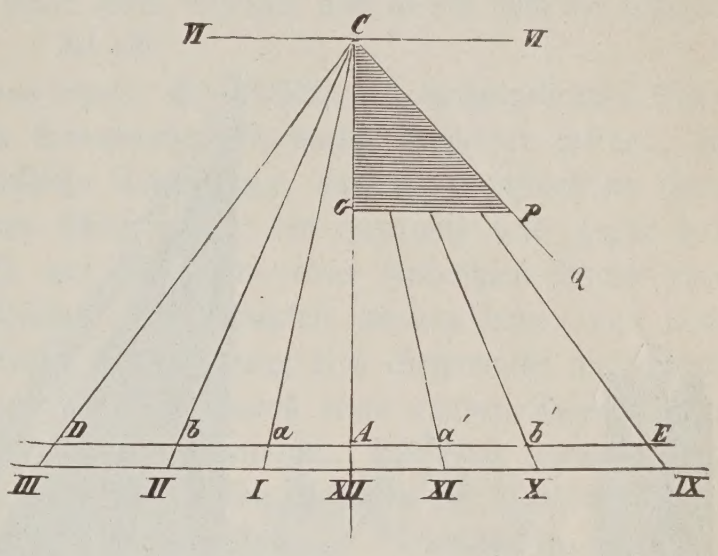
Wahre Zeit	Geographische Breite						
	47°	48°	49°	50°	51°	52°	53°
0 St. 0 M.	0	0	0	0	0	0	0
0 = 30 =	96	98	99	101	102	104	105
1 = 0 =	196	199	202	205	208	211	214
1 = 30 =	303	308	313	317	322	326	331
2 = 0 =	422	429	436	442	449	455	461
2 = 30 =	561	570	579	588	596	605	613
3 = 0 =	731	743	755	766	777	788	799
3 = 30 =	953	968	984	998	1013	1027	1041
4 = 0 =	1267	1287	1307	1327	1346	1365	1383
4 = 30 =	1766	1794	1822	1849	1876	1902	1928
5 = 0 =	2729	2773	2817	2859	2900	2941	2981
5 = 30 =	5555	5645	5733	5819	5903	5985	6066

Wollte man also eine solche Uhr z. B. für Weimar errichten, so wird man, da die geographische Breite dieser Stadt sehr nahe 51° beträgt, von den 1000 gleichen Teilen der Linie CA 208 von A nach a und nach a' tragen, um die Schattenlinien für die erste Stunde vor und nach Mittag zu erhalten. Nimmt

man ebenso $Ab = Ab' = 449$ solcher Teile, so erhält man die Schattenlinien für 10^h vor und für 2^h nach dem Mittage, und so fort für alle übrigen Stunden und Unterabteilungen derselben.

Für 6^h morgens oder abends ist die Entfernung des Durchschnittspunktes der Schattenlinien mit der Linie DAE, von A an gezählt, unendlich groß, d. h. diese Schattenlinie fällt in die durch C mit DE parallel gezogene Linie VI, VI. Will man dann noch die übrigen weiter gegen Morgen oder gegen Abend fallenden Schattenlinien auf der Tafel verzeichnen, so wird man nur die bereits erhaltenen Schattenlinien rückwärts über C hinaus verlängern. So gehört z. B. die Schattenlinie C, IX für 9^h morgens, also auch ihre Verlängerung auf der anderen Seite von C für 9^h abends, und ebenso wird die Linie C, III verlängert die Schattenlinie für 3^h morgens geben, wo man diese Linien offenbar nicht weiter fortsetzen wird, als die größte halbe Tageslänge des Ortes beträgt, die wir oben (I, § 35) in einer eigenen Tafel angegeben haben.

Fig. 122.



§ 18. (Äquatorialuhr.) Noch einfacher wird die Konstruktion sich gestalten bei der sogenannten Äquatorialuhr, wo die Ebene, auf welche die Schattenlinien verzeichnet werden sollen, auf dem Stifte senkrecht steht, also zum Äquator parallel ist. Denkt man sich aus dem Durchschnittspunkte des Stiftes und jener Ebene als Mittelpunkt in der Ebene einen Kreis gezogen, so hat man hier diesen Kreis nur in 24 gleiche Teile zu teilen, die Teilungspunkte mit dem Mittelpunkt durch Gerade zu verbinden und die Ebene, während der Stift parallel zur Weltachse erhalten wird, um den Stift als Achse zu drehen, bis zu einer gewissen Stunde, z. B. um 1 Uhr wahre Zeit, der Schatten des Stiftes in eine jener Geraden fällt. Beziffert man dann diese Linie mit 1, die östlich von derselben liegenden Teilpunkte des Kreises nach einander mit 2, 3, 4 . ., die westlichen mit 12, 11, 10 . ., so werden diese Ziffern auch sofort die wahren Zeiten für die Momente geben, zu welchen der Schatten durch die betreffenden Geraden geht. Da in den Tagen der Nachtgleichen die Sonne im Äquator steht, daher in jener Ebene keinen deutlichen Schatten des Stiftes wirft, so wird man zweckmäßiger statt der Scheibe, die hier den Äquator vorstellte und auf beiden Seiten, der oberen für das Sommer-, der unteren für das Winter-Halbjahr, mit den Schattenlinien

zu versehen war, einen Reif anwenden, welcher der Peripherie obigen Kreises entspricht, wodurch ein der Armillarsphäre (Fig. 108 S. 872) ähnliches Instrument entsteht, das den großen Vorteil besitzt, transportabel und in jedem beliebigen Orte anwendbar zu sein.

Äquatorial-Sonnenuhren von ganz besonderer Genauigkeit, bei denen statt des Schattens des Stiftes ein kleines, durch eine Linse konzentriertes Sonnenbild ins Auge gefaßt wird und mit denen man so bis auf wenige Sekunden richtige Zeitbestimmungen erhalten kann, werden von Hermann und Pfister in Bern angefertigt.

Fig. 123.

Der ausgezeichnete hindostanische Astronom Jayasinha ging von der Ansicht aus, daß die Ungenauigkeit älterer astronomischer Bestimmungen von der Kleinheit und Veränderlichkeit der metallenen Instrumente käme, mit denen man gewöhnlich beobachte. Er errichtete deshalb im Anfange des vorigen Jahrhunderts zu Delhi, Benares u. s. w. astronomische Instrumente aus Stein und Mauerwerk in riesigem Maßstabe, darunter Äquatorialuhren, die er in richtiger Erkenntnis ihrer vielen Vorzüge die „Fürsten der Sonnenuhren" nannte, von einem Umfange, der diese förmlichen Bauwerke zu Seitenstücken der gigantischen Quadranten und Gnomonen der Alten machte. Fig. 123 ist eine Abbildung

der zu Delhi errichteten Sonnenuhr dieser Art, in deren Hintergrunde man Vorrichtungen ähnlichen Stiles sieht. Die schiefe Ebene des mittleren Mauerpfeilers stellt den zur Weltachse parallelen Stift vor und mißt nicht weniger als 36 m, die Höhe der Spitze über dem Boden beträgt gegen 18 m. Die Viertelkreise zu beiden Seiten dieses Pfeilers liegen dem Äquator parallel, haben Halbmesser von mehr als 6 m und tragen in Marmor die Teilung, an welcher man doch nur etwa auf einzelne Zeitminuten die Lage des in der Zeichnung auf der linken Seite sichtbaren Schattens abliest. Diese gemauerten Werkzeuge der Wissenschaft sind zum Teile bis heute wohl erhalten und dienen noch den jetzigen Brahminen.

§ 19. (Sonnenuhr für jede gegebene Fläche.) So einfach die vorhergehenden Vorschriften zur Verzeichnung einer Sonnenuhr jedermann erscheinen werden, so bemerkt man schon ohne ausdrückliche Erinnerung, daß die Konstruktion einer solchen auf irgend einer anderen schief gegen den Horizont und gegen den Meridian gestellten Ebene, z. B. auf der Ebene einer senkrechten Mauer oder auf der eines schief liegenden Daches, sehr verwickelt werden kann, und noch mehr werden sich die Schwierigkeiten häufen, wenn eine Sonnenuhr auf irgend einer krummen Fläche, z. B. auf der Seitenwand eines runden Turmes oder auf einem runden Kuppeldache verzeichnet werden soll. Alle diese Uhren werden bloß darin übereinkommen, daß der Stab, dessen Schatten die Stunde anzeigt, *immer* der Weltachse parallel gestellt werden muß, da dies, wie wir oben gesehen haben, die Hauptbedingung ist, die jeder Zeitbestimmung dieser Art zu Grunde liegt. Die Verzeichnung der Schattenlinien aber wird bei diesen Uhren je nach der Stellung und Krümmung der Flächen, auf welchen sie verzeichnet werden sollen, für jede Uhr eine andere sein.

Allein ohne uns hier in die oft sehr komplizierten Regeln einzulassen, die man bei der Konstruktion einer solchen Uhr zu beobachten hat, wollen wir vielmehr ein Mittel suchen, eine Horizontaluhr, die wir nach dem Vorhergehenden als bereits konstruiert und mit der größten Sorgfalt ausgeführt voraussetzen, auf jede ebene oder krumme Fläche aufzutragen oder gleichsam zu projizieren.

Zu diesem Zwecke wird man die bereits verfertigte und zur größeren Genauigkeit in einem bedeutenderen Maßstabe ausgeführte Horizontaluhr auf einen festen Tisch unmittelbar vor jener Fläche, z. B. vor jener Wand anbringen, auf welcher man die neue Uhr verzeichnen will. Auf diesem Tische stellt man dann die Tafel der Horizontaluhr mittelst einer Libelle horizontal und überdies die Linie CA (Fig. 121 und 122) genau in die Mittagslinie, so daß der Punkt C nach Süd und der Punkt A genau nach Nord steht. Am einfachsten wird man dies letzte, wenn man nicht etwa eine verläßliche und genaue Pendel- oder Taschenuhr hat, erreichen, wenn man mit Hilfe eines Gnomons (§ 11) sich zunächst die Lage der Mittagslinie auf dem Tische verzeichnet, und dann die Linie CA der Sonnenuhr in dieselbe hineindreht.

In dieser Lage ist also die Horizontaluhr auf ihrem Tische vollkommen orientiert. Verlängert man nun etwa durch einen gespannten Faden den Stiel CQ der Horizontaluhr, bis dieser Faden die Wand, auf welcher die neue Uhr verzeichnet werden soll, in einem Punkte R trifft, so wird man in diesem Punkte R der Wand einen Stiel, z. B. eine Stange von Eisen so befestigen, daß er dem gespannten Faden genau parallel wird. Da sonach dieser Stiel auch der Weltachse parallel ist, wird er der Stiel der neuen Uhr sein.

Auf dieselbe Weise, wie man den Stiel der Horizontaluhr verlängert hat, kann man auch die Schattenlinie derselben bis zum Durchschnitte mit der Mauer verlängern, und die so erhaltenen Punkte, mit dem Fußpunkte R des Stieles der neuen Uhr verbunden, liefern dann die Schattenlinien für die einzelnen Stunden des Tages.

Dasselbe Ziel erreicht man aber ebenso einfach auch dadurch, daß man, nachdem der Stiel der neuen Uhr an der Wand befestigt worden, an einem der nächsten heiteren Tage in den Momenten, wo die Schattenlinien der Horizontaluhr auf die Stunden 1, 2, 3 u. s. w. fallen, den Schatten des Stieles an der Wand anreißt. Dieses Verfahren ist auch dann noch anwendbar, wenn die Fläche, auf der die Sonnenuhr verzeichnet werden soll, gekrümmt ist: nur werden die Schattenlinien dann nicht mehr gerade, sondern gekrümmte Linien sein.

§ 20. (Bestimmung des Standes und Ganges einer Uhr.) Jede Aufeinanderfolge von Ereignissen kann zur Messung der Zeit benützt werden, und sie wird dazu um so besser dienen, je regelmäßiger sie stattfindet: daher jeder sich bewegende Körper, jede Maschine, Wasser- und Sanduhren oder endlich unsere eigentlichen, mechanischen Uhren zu diesem Zwecke taugen. Der gleichförmige Gang des Meßapparates ist dabei unerläßlich, weil man nur unter dieser Bedingung aus dem zurückgelegten Wege des Bewegten sofort und ohne Weitläufigkeiten auf die verflossene Zeit schließen kann. Um nun die Gleichförmigkeit des Ganges einer solchen Maschine prüfen zu können, hat man sich in der Natur um eine im strengsten Sinne gleichförmige Bewegung umgesehen und diese in der Achsendrehung der Erde oder in der scheinbaren täglichen Bewegung der Gestirne (III, § 27) gefunden. Unter diesen Umständen reduziert sich eine sogenannte Zeitbestimmung im Grunde darauf, den Stand, d. h. den Fehler der Uhr im Augenblicke der Beobachtung gegen eine der drei üblichen Zeitarten: wahre Sonnenzeit, mittlere Zeit oder Sternzeit zu bestimmen, wie aus dem Oben beigebrachten, namentlich aber aus den Beispielen in den §§ 14 und 15, ohne weiteres klar ist.

Nicht minder wichtig als die Kenntnis des Standes ist auch die des Ganges einer Uhr. Nach dem obigen ist der Stand einer Uhr der Fehler, um den sie zu einer gewissen Zeit von dem abweicht, was sie wirklich zeigen soll: der Gang ist die Veränderung des Standes *während* einer gewissen Zeit, je nach deren Länge er dann täglicher, stündlicher u. s. w. heißt. Der Stand einer Uhr also bezieht sich darauf, ob sie zu viel oder zu wenig zeigt; der Gang aber darauf,

ob sie zurückbleibt (retardiert; Gang positiv) oder voreilt (acceleriert; Gang negativ). Wenn die Uhr zu viel zeigt, so sagt man, sie habe eine negative Korrektion, weil man von dem, was sie weist, etwas abziehen muß, um die eigentliche Zeit zu erhalten, und umgekehrt nennt man die Korrektion eine positive, wenn die Uhr zu wenig zeigt. Wenn man also z. B. von einer Uhr hört, sie habe um $6^h\ 18^m$ Uhrzeit die Korrektion $+\ 5^m\ 56^s$ gehabt, so will dies so viel sagen, als daß die Uhr in dem Augenblicke, wo sie auf $6^h\ 18^m$ wies, um $5^m\ 56^s$ zu wenig zeigte, oder mit anderen Worten, daß sie in diesem Augenblicke $6^h\ 23^m\ 56^s$ hätte zeigen sollen.

Man findet übrigens den Gang aus einer einfachen Proportion zwischen zwei Ständen der Uhr und den Zeiten, für welche diese Stände galten. Daher haben die Tagebücher astronomischer Uhren gewöhnlich folgende Gestalt, die sich jeder sorgfältige Besitzer einer genauen Uhr zum Muster nehmen sollte:

Tag	Uhrzeit	Korrektion	Täglicher Gang
Januar 23	$6^h\ 18^m$	$+\ 5^m\ 55{\cdot}82^s$	$+\ 1{\cdot}16^s$
= 26	10 15	$+\ 5\ 59{\cdot}50$	$+\ 1{\cdot}11$
= 27	10 49	$+\ 6\ 0{\cdot}64$	$+\ 0{\cdot}73$
= 28	9 42	$+\ 6\ 1{\cdot}34$	$+\ 0{\cdot}84$
= 30	15 17	$+\ 6\ 3{\cdot}21$	$+\ 0{\cdot}97$
Februar 2	17 35	$+\ 6\ 6{\cdot}21$	

Die ersten zwei Kolumnen geben die Zeit, welche die Uhr zeigte, als ihre Korrektion so gefunden wurde, wie sie in der dritten Kolumne erscheint. Die vierte Kolumne entsteht durch Proportion zwischen den Größen der ersten beiden und der dritten Kolumne, z. B.

Am 23. Januar um $6^h\ 18^m$ Uhrzeit war die Korrektion der Uhr $+\ 5^m\ 55.82^s$

= 26. = = 10 15 = = = = = = $+5\ 59.50$

Also war die positive Korrektion der Uhr in 3 Tagen $3^h\ 57^m$ um $3{\cdot}68^s$ gewachsen, somit in einem Tage um $1{\cdot}16^s$, oder die Uhr retardierte täglich um $1{\cdot}16^s$, die Zahl der vierten Kolumne.

Für Leser, welche sich die Mühe dieser kleinen Rechnung nicht geben wollen, bemerken wir noch, daß sich dieselbe bedeutend abkürzt, wenn man die Korrektion der Uhr immer zur selben Tageszeit aufsucht. Dies ist z. B. der Fall, wenn man in Wien sich zu diesem Behufe an das Mittagszeichen der Sternwarte hält. Hätte man so gefunden

Tag	Korrektion	Tägl. Gang
Mai 7 mittags	$+\ 2^m\ 35^s$	$-\ 1^m\ 20^s$
= 8 =	$+\ 1\ 15$	$-\ 1\ 30$
= 11 =	$-\ 3\ 15$	$-\ 1\ 25$
= 13 =	$-\ 6\ 5$	

so würden daraus unmittelbar die beigeschriebenen täglichen Gänge dieser Uhr

folgen: es änderte sich nämlich ihr Stand vom 7. zum 8. Mai um $1^m\ 20^s$, und zwar nahm die positive Korrektion ab, daher obiges Resultat: $1^m\ 20^s$ Acceleration. Vom 8. zum 11. Mai änderte sich der Stand um $4^m\ 30^s$; denn während die Uhr am 8. Mai um $1^m\ 15^s$ zurück war, ging sie am 11. Mai um $3^m\ 15^s$ vor; die positive Korrektion war in eine negative übergegangen: somit fand innerhalb dreier Tage eine Acceleration von $4^m\ 30^s$, also in einem Tage von $1^m\ 30^s$ statt u. s. w.

Man sieht aus dem Obigen, daß, wenn Stand und Gang einer Uhr bekannt sind, man sich die richtige Zeit in jedem beliebigem Augenblicke verschaffen kann. Gesetzt, man hätte dies mit der im letzten Beispiele betrachteten Uhr am 9. Mai, als sie $6^h\ 3^m\ 15^s$ zeigte, thun wollen. Da von der nächst vorhergehenden Vergleichungszeit (8. Mai mittags) bis zum gegebenen Augenblicke beiläufig $1^1/_4$ Tag verfloß und die Uhr vom 8. zum 11. täglich um $1^m\ 30^s$ accelerierte, so ist die Korrektion vom 8. Mai mittags ($+\ 1^m\ 15^s$) um $1^m\ 52{\cdot}5^s$ zu vermindern, um die Korrektion der Uhr für den gegebenen Augenblick zu erhalten. Man bekommt so für diese Korrektion $-\ 37{\cdot}5^s$, d. h. die Uhr zeigte am 9. Mai um 6^h abends $37{\cdot}5^s$ zu viel, oder: als sie $6^h\ 3^m\ 15^s$ wies, war es eigentlich $6^h\ 2^m\ 37{\cdot}5^s$.

Dies Verfahren unterliegt der einzigen Bedingung, daß der Gang der Uhr nahezu derselbe bleibe, da nur so obige einfache Ableitung der richtigen Zeit möglich ist. Eine Uhr gilt daher dem Astronomen nur dann, aber auch dann für vollkommen gut, wenn sie *denselben* Gang behält, mag der Stand, welcher er will, und mag der Gang noch so groß sein. Es wird z. B. die Uhr, von welcher oben (S. 921) das erste Formular mitgeteilt wurde, für eine ausgezeichnete gelten müssen, weil der Gang nicht nur immer Retardation, sondern auch innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde stets derselbe blieb, sowie die zweite Uhr, deren Gang hier beispielsweise angeführt wurde, für eine Taschenuhr noch ganz gut wäre.

Zum begründeten Urteile über eine Uhr gehört demnach eine längere, öfter wiederholte Vergleichung derselben mit dem Himmel, oder mit einer bereits als gut erprobten sogenannten Normaluhr. Es zeigt nur von Unkenntnis der Sache, wenn man aus dem ersten besten Stande einer Uhr auf die Güte derselben schließen oder sie sofort für schlecht erklären wollte, bloß weil ihre Korrektion oder ihr täglicher Gang erheblich ist. So wäre es gewiß ein arger Fehlschuß, wenn man bei einer auf das Maß der Sternzeit regulierten Uhr daraus, daß sie täglich um $3^m\ 56{\cdot}6^s$ gegen mittlere Zeit voreilt, also gegen diese einen täglichen Gang von $3^m\ 56{\cdot}6^s$ zeigt, folgern wollte, sie sei eine schlechte. Besitzt eine Uhr einen gleichförmigen Gang, so ist ihr Zweck, durch eine einfache Rechnung für jeden gegebenen Augenblick die richtige Zeit zu finden, völlig erreicht, die Uhr daher eine gute: die Größe des Ganges ist hierbei gleichgiltig. Bequem ist es allerdings nicht, wenn eine Uhr gegen die Zeitart, mit der man sie vergleichen will, einen starken Gang hat: man pflegt deshalb auch durch die hierzu vorhandenen

Vorrichtungen, die wir bereits einmal (I, § 97) berührten und gleich im folgenden Paragraph ausführlicher besprechen werden, seine Uhr zu regulieren, d. h. ihren Gang auf eine kleine Größe herabzubringen. Wenn aber dieser tägliche Gang auch noch so gering ist, wenn sie beispielsweise an einem Tage auch nur um 1^s vorausgeht, so beträgt dies in zwei Monaten doch schon 1^m und in einem Jahre 6^m. Dies wird jedoch kein Grund sein, die Zeiger häufig zu verstellen, um sie ihrem wahren Stande näher zu bringen, wie dies wohl viele mit ihren Taschenuhren zu thun pflegen, wenn sie die Mittagsglocke läuten hören. Durch solche gewaltsame Verstellungen der Zeiger wird der regelmäßige Gang dieser feinen Maschinen nur gestört, und der Astronom wird diese und alle ähnlichen äußeren Störungen seiner Uhr sorgfältig vermeiden. Daher kommt es, daß, wie man selbst auf den besteingerichteten Sternwarten oft zu seiner Verwunderung hört, die Uhren derselben mehrere Minuten von der richtigen Zeit abweichen, während man doch glauben sollte, daß sie immer auf das genaueste mit dem Himmel übereinstimmen müßten. Der Astronom ist nämlich vollkommen zufrieden, wenn seine Uhr nur *gleichförmig* geht, d. h. wenn sie täglich um dieselbe Größe zurückbleibt oder vorauseilt. Er hält von diesem Gange seiner Uhr täglich scharfe Rechnung, die ihn von dem Fehler derselben für jeden gegebenen Augenblick in genaue Kenntnis setzt, so daß er ihn leicht berücksichtigen kann.

Aus Gründen der Bequemlichkeit und Einfachheit empfiehlt es sich auch, den Stand einer nach Sternzeit gehenden Uhr direkt aus Beobachtungen an Sternen zu ermitteln, obschon man dazu, wie im § 14 gezeigt wurde, auch Sonnenbeobachtungen benutzen kann. Denn wählt man dazu die Beobachtung korrespondierender Höhen eines Sternes, so erhält man aus der Vergleichung der so gewonnenen Uhrzeit der Kulmination mit der bekannten Rektascension dieses Sternes unmittelbar den Stand seiner Uhr gegen Sternzeit, weil bekanntlich die Rektascension eines jeden Gestirnes zugleich die Sternzeit seiner Kulmination ist (Einl., § 23). Wenn man z. B. von einem Fixsterne, dessen Rektascension $5^h\ 30^m\ 24^s$ ist, durch korrespondierende Höhen die Uhrzeit seiner Kulmination gleich $5^h\ 31^m\ 10^s$ gefunden hat, so ist dadurch auch sofort bekannt, daß die Uhr in dem Augenblicke jener Kulmination gegen Sternzeit um 46^s voraus war, oder gegen dieselbe einen Stand: $-0^m\ 46^s$ hatte.

§ 21. (Einrichtung der Uhren und Arten derselben.) An jeder mechanischen Uhr hat man bekanntlich als Hauptbestandteile die eigentlich *bewegende Kraft*, den *Regulator* und die *Hemmung* zu unterscheiden. Das *Bewegende* ist entweder ein Gewicht, das durch Abwickelung der Schnur, an der es hängt, von der Welle eines gezähnten Rades das übrige Werk in Bewegung setzt, oder eine Spiralfeder, die in einem cylindrischen, von außen gezähnten Gehäuse, der sogenannten Trommel, so aufgewunden wird, daß ihr inneres Ende an der Achse der Trommel, ihr äußeres aber an der inneren Seite der Trommel befestigt ist. Beim Ablaufen des Werkes kann sich jene Radwelle bei der Gewichtuhr, sowie diese

Achse der Trommel bei der Federuhr nur mit dem damit verbundenen gezähnten Rade drehen und setzt eben dadurch das ganze Werk in Bewegung. In der dem Ablaufen entgegengesetzten Richtung hingegen ist die Welle des Gewichtsrades sowie die Achse der Trommel für sich drehbar, wodurch man die Schnur des Gewichtes von neuem aufwickeln, sowie die Feder wieder in Spannung versetzen, d. h. die Uhr *aufziehen* kann.

Das Ablaufen würde an sich mit beschleunigter Geschwindigkeit erfolgen, da die bewegenden Kräfte in beiden Fällen offenbar von Augenblick zu Augenblick sich summieren. Die für Zeitmesser nötige Gleichförmigkeit der Bewegung herzustellen, ist die Bestimmung des *Regulators*. Dieser ist entweder ein Pendel oder eine feine Spiralfeder und erfüllt seinen Zweck, indem man dem Uhrwerk auflegt, im ersten Falle das Pendel beständig in Bewegung zu erhalten, im letzten die Spirale beständig zu spannen und wieder frei zu lassen. Um die Schwingungen der Spirale gegen äußere Störungen zu sichern, ist an derselben ein Schwungbalken, die sogenannte *Unruhe*, befestigt. Je kürzer das Pendel oder die Spirale oder endlich der Schwungbalken der letzteren, desto schneller geht die Uhr und umgekehrt. Zum Behufe solcher Verlängerung oder Verkürzung endigen bekanntlich bei *gewöhnlichen* Uhren die Pendel oben in einen biegsamen Faden, durch dessen Auf- und Abwickelung um einen Stift man jede nötige Änderung der Länge hervorbringen kann; die Spiralen aber schwingen zwischen zwei Stiftchen, durch deren Verschiebung man einen größeren oder kleineren Teil der Spirale für die Schwingung frei läßt. Bei *genaueren* Uhren ist das linsenförmige Gewicht am unteren Ende des Pendels verrückbar, so daß, da man unter Länge des Pendels die Entfernung seines Schwerpunkts vom Aufhängepunkte zu verstehen hat, der gewünschte Erfolg durch Verstellung der Linse erreicht wird, während die Spiralen genauer Uhren an den Enden des Schwungbalkens ihrer Unruhe Schräubchen mit schweren Köpfen tragen, durch deren Versetzen, Lüften oder tieferes Einschrauben in den Schwungbalken jene Wirkung erzielt wird.

Um die Einflüsse der Temperatur aufzuheben, durch welche die Regulatoren bald ausgedehnt, bald zusammengezogen werden und dadurch den Gang der Uhr stets ändern, sind Pendel oder Unruhe bei genaueren Zeitmessern *kompensiert*, d. h. so eingerichtet, daß für jede Einwirkung durch größere oder geringere Wärme auf den Gang eine gleich große Gegenwirkung entsteht. Beim Pendel, wo diese Störung z. B. bei stählernen Stangen für 20° C. Änderung der Temperatur 12^s im täglichen Gange beträgt, erreicht man am einfachsten solche Ausgleichung dadurch, daß man an die Stelle des linsenförmigen Gewichtes ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß anbringt. Bei solcher Einrichtung wird nämlich mit den Änderungen im Volum des Quecksilbers durch Temperatur der Schwerpunkt des Pendels gehoben oder gesenkt, wenn umgekehrt durch dieselbe Einwirkung auf die Pendelstange das Gefäß gesenkt oder gehoben wird, und wenige Versuche reichen hin, zu ermitteln, bei welcher Menge von Quecksilber diese beiden Wir-

kungen einander aufheben, somit der Zweck: den Schwerpunkt stets in gleicher Entfernung vom Aufhängepunkt zu erhalten, erreicht ist. Bei Uhren mit Unruhen, wo eine Änderung der Temperatur von 20° C. den täglichen Gang bis 6^m alteriert, besteht die Kompensations-Einrichtung darin, daß man an die beiden Enden des Schwungbalkens in der Schwingungsebene der Spirale Bogen befestigt, die aus zwei an einander gelöteten Streifen von Stahl und Messing bestehen. Von diesen beiden Metallen ändert sich dieses durch Temperatur viel stärker als jenes. Da vermöge der Lötung aber die Streifen sich nur *mit einander* verändern können, so wird eine Änderung der Temperatur sich hier durch eine Änderung der *Krümmung* der Bogen aussprechen, und zwar werden die beiden Bogen, wenn der äußere Streifen von Messing, der innere von Stahl ist, bei zunehmender Temperatur mehr gekrümmt, bei abnehmender hingegen flacher werden. Es wird also im ersten Falle gleichsam die Masse des Schwungbalkens, als dessen Teil man die Bogen ansehen muß, dem Mittelpunkt genähert, d. h. der Schwungbalken *verkürzt*, und umgekehrt im zweiten Falle. Da aber im ersten Fall zugleich die Spirale *verlängert*, sowie im zweiten Falle verkürzt wird, so treten, wie man sieht, bei jeder Temperaturänderung wieder zwei einander entgegengesetzte Einwirkungen auf den Gang der Uhr ein, die sich leicht zu gegenseitiger, völliger Ausgleichung bringen lassen. Zu diesem Zwecke tragen die Bogen an verschiedenen Punkten Gewinde, in die man Schräubchen mit schweren Köpfen in verschiedener Entfernung vom Schwungbalken anbringen und so die kompensierende Wirkung der Bogen nach Belieben vermehren oder vermindern kann.

Die Verbindung zwischen dem Regulator und der bewegenden Kraft stellt der dritte charakteristische Teil des Werkes her, den man sehr bezeichnend die *Hemmung* nennt, da derselbe mit jeder Schwingung des Regulators in die Räder der Uhr einen Augenblick einzugreifen und so für das gleichmäßige Ablaufen des Werkes zu sorgen hat. Zugleich wird durch die dadurch auf den Regulator verursachte Rückwirkung dieser beständig in Bewegung erhalten. Die nähere Beschreibung der verschiedenen Hemmungen, die man je nach dem Zwecke der Uhr ausgesonnen hat, wie die Graham'sche und die freie Hemmung bei Pendeluhren, die Spindel-, Cylinder-, Anker-, Dupler-, getrennte Hemmung bei Federuhren, würde uns hier zu weit führen und ist, wie überhaupt Ausführlicheres über hier eben nur berührte Punkte, an anderen Orten, etwa in G. *Hertz* „Geschichte der Uhren" (Berlin 1851) nachzulesen.

Gewicht und Pendel können ihrer Natur nach nur bei Uhren in Anwendung kommen, die einen festen Standort haben; transportable Uhren müssen durch Federn in Bewegung gesetzt und an der Unruhe reguliert werden. Die Wirkungen der Schwere aber, auf denen der Gebrauch von Gewicht und Pendel beruht, sind weit geringeren Störungen unterworfen als die Wirkungen der Elastizität, welche bei der Federuhr in Betracht kommen. Daher verursachte es auch viel

größere Schwierigkeiten, und gelang auch erst viel später, transportable Uhren, die, wenn in ihrer größten Vollkommenheit ausgeführt, vorzugsweise Chronometer genannt werden, in ähnlicher Genauigkeit herzustellen, wie sorgfältig gearbeitete Pendeluhren. Auf ständigen Sternwarten ist übrigens auch heute noch die Pendeluhr bei weitem die gebräuchlichere und hat seit ihrer Einführung durch Huyghens und ersten wissenschaftlichen Anwendung durch Flamsteed zu Ende des 17. Jahrhunderts der Astronomie bereits unabsehbare Dienste geleistet. Die Wichtigkeit des Chronometers aber für astronomische Bestimmungen auf Reisen, besonders zur See, hat einen solchen Wetteifer in der Anfertigung dieser zuerst von Harrison (1765) brauchbar gelieferten und vom englischen Parlamente mit 20 000 Pf. St. prämiierten Instrumente hervorgerufen, daß Chronometer von einer Genauigkeit, welche der der astronomischen Pendeluhr sehr nahe kommt, heutzutage nichts weniger als zu den Seltenheiten gehören. Als Beispiel der Vollkommenheit dieser Kunstwerke, in welchen die moderne Mechanik ihren glänzendsten Triumph feiert, mag hier der Gang angeführt werden, den ein Chronometer von E. J. Dent ohne allen besonderen Schutz gegen den Wechsel der Temperatur während eines Jahres auf der Sternwarte zu Greenwich zeigte. Unter „mittlerer" Gang ist der Durchschnitt eines Monats zu verstehen.

Chronometer Dent Nr. 114.

		Mittlerer tgl. Gang	Größte Gangänder.			Mittlerer tgl. Gang	Größte Gangänder.
1828	August	+ 3·43^s	0·7^s	1829	Februar	+ 3·59^s	1·1^s
	September	+ 3·85	1·7		März	+ 3·74	1·6
	Oktober	+ 3·73	0·8		April	+ 3·60	1·1
	November	+ 3·87	0·9		Mai	+ 3·58	1·2
	Dezember	+ 3·93	1·2		Juni	+ 3·77	0·8
1829	Januar	+ 3·59	1·4		Juli	+ 3·97	1·6

Die Änderungen im mittleren täglichen Gange dieser Uhr hielten sich also durch alle Jahreszeiten innerhalb einer halben Sekunde, indem die Uhr in einem Tage nie weniger als 3·43^s und nie mehr als 3·97^s durchschnittlich retardierte.

Merkwürdigerweise kann man bekanntlich den eigentlichen Erfinder der mechanischen Uhren überhaupt, die wir heute keinen Augenblick entbehren können, nicht mit Sicherheit angeben.

§ 22. (Prüfung von Chronometern.) Da im großen Publikum vielfach irrige Meinungen über die Leistungsfähigkeit von Uhren herrschen, und um unseren Lesern Gelegenheit zu geben, sich eine klare Vorstellung über die Anforderungen zu bilden, die man heutzutage an eine gute Uhr stellt, wollen wir hier aus dem Prüfungs-Reglement für Chronometer der Genfer Sternwarte das Wichtigste dessen zusammenstellen was bei der Beurteilung der Güte einer Uhr als maßgebend gilt. Dabei wollen wir dem Zwecke unseres Werkes entsprechend hauptsächlich die für Taschenchronometer geltenden Vorschriften ins Auge fassen.

Jedes der Sternwarte übergebene Chronometer wird *täglich* von einem der Astronomen der Anstalt mit einer nach mittlerer oder einer nach Sternzeit gehenden Hauptuhr verglichen, und über diese Vergleichungen, sowie über den daraus folgenden Gang des Chronometers ein eigenes Protokoll geführt.

Die Taschenchronometer werden nach der mehr oder weniger vollständigen und der mehr oder weniger strengen Art ihrer Prüfung in 3 Kategorien oder Klassen gesondert. Welcher dieser Kategorien das Chronometer eingereiht werden soll, hat der Verfertiger bei dessen Einsendung anzugeben.

Die Zeit der Prüfung wird in mehrere Perioden abgeteilt, zwischen denen sowohl die Lage des Chronometers als auch die Temperatur des Aufbewahrungsraumes geändert wird. Der letztere ist teils ein Beobachtungssaal, teils der Kaltraum, dessen Temperatur je nach der Jahreszeit zwischen 0^0 und $+5^0$ C. wechselt, teils der Warmkasten mit einer Temperatur zwischen $+30^0$ und $+35^0$ C.

Man berechnet nun für jede einzelne Periode gesondert den *mittleren* täglichen Gang, und den Unterschied zwischen dem an jedem einzelnen Tage beobachteten Gange und diesem mittleren. Diese Unterschiede werden Gangabweichungen genannt. Das algebraisch, d. h. *ohne* Rücksicht auf das Vorzeichen genommene Mittel der Gangabweichungen *einer* Periode heißt *tägliche Schwankung*, während das algebraisch genommene Mittel aus den Gangabweichungen mehrerer oder aller Perioden als *mittlere Schwankung* bezeichnet wird.

Man berechnet ferner die mittleren täglichen Gänge für alle jene Perioden, in denen sich das Chronometer im Beobachtungsraume, also unter den gewöhnlichen Temperaturverhältnissen befand. Es wird hierauf aus diesen mittleren täglichen Gängen das Mittel gezogen, und die Differenz jedes einzelnen von demselben gebildet. Das abermals algebraisch genommene Mittel der so erhaltenen Differenzen bildet die *mittlere Schwankung von Periode zu Periode*.

Der Fehler der Kompensation für 1^0 C. wird auf eine ziemlich komplizierte Art berechnet, welche schließlich beiläufig darauf hinauskommt, daß man sich für jene 2 Perioden, in denen das Chronometer sich im Kaltraum und in der Heizkammer befand, die mittleren täglichen Gänge und die mittleren Temperaturen beider Räume berechnet, und hierauf den Unterschied dieser mittleren Gänge durch den Unterschied der mittleren Temperaturen dividiert.

Ein Chronometer wird an den Fabrikanten *ohne* Ausfolgung eines Zeugnisses zurückgeschickt, wenn der tägliche Gang während irgend einer Periode der Vergleichungen $10{\cdot}0^s$, oder der Kompensationsfehler $0{\cdot}40^s$ für eine Temperaturveränderung von 1^0 C. übersteigt. Die übrigen Chronometer erhalten ein von dem Direktor der Sternwarte oder seinem Vertreter ausgestelltes Zeugnis. Dasselbe enthält die Angabe der Kategorie der Prüfungen, denen es unterzogen wurde, und einen Auszug aus dem über seinen Gang geführten Protokolle.

Für Taschenchronometer der I. Kategorie beträgt die Dauer der Vergleichungen

44 Tage. Dieser Zeitraum wird in 8 Perioden abgeteilt, in welchen der Gang der Uhr der Reihe nach unter folgenden Verhältnissen untersucht wird:

Per.	Dauer Tg.	Lage	Temperatur
1.	5	hängend, Aufhängering oben;	des Saales
2.	5	= = nach rechts;	= =
3.	5	= = nach links;	= =
4.	6	liegend, Zifferblatt oben;	im Kaltraum
5.	6	= = =	des Saales
6.	6	= = =	im Warmkasten
7.	6	= = unten;	des Saales
8.	5	hängend, Aufhängering oben;	= =

Der erste Tag der 4., 5., 6. und 7. Periode wird in die Berechnung der Gänge nicht einbezogen und es werden infolgedessen diese Tage Zwischentage genannt.

Um ein Zeugnis I. Klasse zu erhalten, darf bei einem Chronometer

1. die tägliche Schwankung: $1{\cdot}5^s$;
2. die mittlere Schwankung: $0{\cdot}75^s$;
3. die Differenz der mittleren Gänge zwischen je zwei der Perioden 1, 2, 3, 5, 7 und 8: $10{\cdot}0^s$;
4. die Differenz der mittleren täglichen Gänge zwischen Liegen und Hängen, aus dem Mittel der mittleren täglichen Gänge der Perioden 1 und 8 und dem mittleren täglichen Gange der Periode 5: $6{\cdot}0^s$;
5. die Differenz der mittleren täglichen Gänge der Perioden 5 und 7 (horizontale Lage): $6{\cdot}0^s$;
6. die Differenz der mittleren täglichen Gänge zwischen der ersten und letzten Periode (1 und 8): $5{\cdot}0^s$;
7. die mittlere Schwankung von Periode zu Periode: $2{\cdot}5^s$ und
8. der Kompensationsfehler: $0{\cdot}20^s$

nicht übersteigen.

Die Dauer der Vergleichungen für ein Chronometer II. Klasse beläuft sich auf 29 Tage; sie werden in der nachstehenden Reihenfolge vorgenommen:

Per.	Dauer Tg.	Lage	Temperatur
1.	9	hängend, Aufhängering oben;	des Saales
2.	9	liegend, Zifferblatt oben;	= =
3.	2	= = =	im Kaltraume
4.	2	= = =	des Saales
5.	2	= = =	im Warmkasten
6.	3	= = unten;	des Saales
7.	2	hängend, Aufhängering oben;	= =

Der erste Tag der 3., 4., 5. und 6. Periode gilt als Zwischentag.

Zur Erlangung eines Zeugnisses II. Klasse wird gefordert, daß

1. für die beiden ersten Perioden (1 und 2) die tägliche Schwankung: $1{\cdot}75^s$;
2. die aus den beiden ersten Perioden berechnete mittlere Schwankung: $1{\cdot}00^s$;
3. die aus ebendenselben beiden ersten Perioden zwischen Hängen und Liegen gefundene Differenz der mittleren täglichen Gänge: $7{\cdot}0^s$;
4. die Differenz der mittleren täglichen Gänge zwischen der zweiten und sechsten Periode (horizontale Lage): $7{\cdot}0^s$;
5. die Differenz der mittleren täglichen Gänge zwischen der ersten und letzten Periode (1 und 7): $6{\cdot}0^s$, und
6. der Kompensationsfehler: $0{\cdot}30^s$

nicht übersteige.

Die Vergleichung der Taschenchronometer III. Klasse oder Kategorie dauert 18 Tage, und wird folgendermaßen vorgenommen:

Per.	Dauer Tg.	Lage	Temperatur
1.	6	hängend, Aufhängering oben;	des Saales
2.	6	liegend, Zifferblatt oben;	= =
3.	2	= = =	im Kaltraume
4.	2	= = =	des Saales
5.	2	= = =	im Warmkasten.

Der erste Tag der Perioden 3, 4 und 5 gilt als Zwischentag.

Ein Zeugnis III. Klasse erfordert nun, daß:

1. während jeder der beiden ersten Perioden die tägliche Schwankung; $2{\cdot}0^s$;
2. die mittlere Schwankung, berechnet aus den beiden ersten Perioden: $1{\cdot}25^s$;
3. die Differenz des mittleren Ganges, wieder aus den beiden ersten Perioden abgeleitet: $8{\cdot}0^s$, und
4. der Kompensationsfehler: $0{\cdot}40^s$

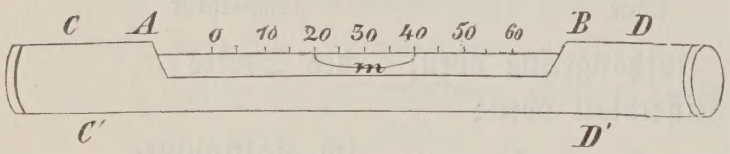
nicht übersteige.

Ähnliche Vorschriften gelten für die Prüfung von Marinechronometern; nur werden dieselben nicht weiter in Klassen abgeteilt. Die Vergleichungen umfassen einen Zeitraum von 64 Tagen und die Anforderungen sind wesentlich höher gestellt. So erhält ein Marinechronometer erst dann ein Certifikat, wenn die tägliche Schwankung $1{\cdot}0^s$, die mittlere $0{\cdot}50^s$, die mittlere von Periode zu Periode $1{\cdot}00^s$, die Differenz des mittleren täglichen Ganges zwischen je zwei beliebigen Perioden $4{\cdot}0^s$ und der Kompensationsfehler $0{\cdot}15^s$ nicht überschreitet.

§ 23. (Libelle oder Wasserwage.) Ehe wir nach dieser Abschweifung über die

Bestimmung des Standes und Ganges einer Uhr zur Beschreibung der Instrumente zurückkehren, müssen wir noch eines Hilfsapparates gedenken, mittelst dessen man die Rotationsachse eines Instrumentes zunächst sehr nahe horizontal stellen, und nachdem dies geschehen, die noch übrige Neigung derselben gegen den Horizont bestimmen kann. Die einfachste Vorrichtung zu diesem Zwecke ist die Libelle (Niveau), oder wie sie auch genannt wird, die Wasserwage: ein nach R. Wolf um die Mitte des 17. Jahrhunderts wahrscheinlich vom Mechaniker Chapotot erfundenes und von Thevenot im Jahre 1666 zuerst eingeführtes Instrument, das in folgender Weise konstruiert ist. In der Höhlung der metallenen Röhre CDC'D' (Fig. 124) liegt eine gläserne, mit Weingeist oder Äther nicht völlig gefüllte, an ihrer obersten Seite kreisförmig ausgeschliffene Röhre AB, welche man in der Zeichnung durch die oben aufgeschnittene Metallröhre sieht. Die Luftblase m, die den nicht erfüllten Teil der Glasröhre einnimmt, wird, da sie viel leichter als die Flüssigkeit ist, ihrer Natur nach immer den höchsten Teil der Röhre oder des Kreisbogens AB einnehmen. Denkt man sich nun die Metallröhre entweder unten bei C' und D' mit Fußgestellen, um sie z. B. auf einen Tisch zu stellen, oder oben bei C und D mit Haken versehen, um sie an irgend eine Achse, z. B. an die Drehungsachse AB Fig. 125 (weiter unten) eines Mittagsrohrs zu hängen, so wird man mit Hilfe dieser Libelle in jenem Fall den Tisch und in diesem die Achse horizontal stellen können, wenn man noch bemerkt, daß eines jener Fußgestelle oder einer jener Haken so eingerichtet ist, daß er sich mittelst einer daran angebrauchten Schraube etwas verlängern oder verkürzen läßt, und daß bei den sorgfältiger gearbeiteten Libellen der oberste Rand der Glasröhre in eine Anzahl gleicher, mit Zahlen versehener Teile geteilt ist, um dadurch den Ort der Blase genauer zu bestimmen.

Fig. 124.



Liegen die untersten Teile des Fußgestells oder die höchsten Teile der Haken, die eigentlichen Anhaltspunkte bei horizontaler Stellung der Glasröhre, ebenfalls in einer horizontalen, in welchem Zustande man die Libelle berichtigt oder rektifiziert nennt, so darf man sie nur auf den Tisch stellen oder an jene Achse hängen und Tisch oder Achse auf der einen Seite desselben so lange erhöhen oder erniedrigen, bis die Luftblase m der Libelle genau in der Mitte der Glasröhre steht. Allein gewöhnlich sind beide, Libelle und Tisch, oder Libelle und Achse, zugleich fehlerhaft. In diesem Falle hänge man die Libelle CD (Fig. 124) an die Rotationsachse AB (Fig. 125 S. 933) so auf, daß C auf der Seite von A, und D auf der Seite von B ist, und lese in diesem Stande der Libelle den Ort der Mitte der Luftblase ab. Diesen erhält man am genauesten und sichersten durch Ablesen der beiden Teilstriche, bei denen die Enden der Luftblase stehen,

und Nehmen des arithmetischen Mittels aus beiden Ablesungen. Gesetzt nun, diese Mitte stehe bei dem Teilstriche a der Glasröhre. Dann hebe man die Libelle von der Achse ab und hänge sie in verkehrter Richtung wieder an dieselbe, so daß jetzt der Teil C der Libelle nach B (Fig. 125) und der Teil D nach A kommt, und lese hier wieder den Ort der Mitte der Blase ab, der z. B. bei dem Teilstriche b stehen soll. Wenn a von b verschieden ist, so ist dies ein Zeichen, daß die Rotationsachse AB *nicht* horizontal steht und daher verbessert werden muß. Die Größe dieser Verbesserung aber wird unmittelbar durch die beiden Zahlen a und b angegeben. Man wird nämlich in dieser zweiten Lage der Libelle den Endpunkt A der Rotationsachse so weit erhöhen oder erniedrigen, bis der Mittelpunkt der Luftblase genau in der *Mitte* zwischen jenen zwei Zahlen a und b steht. Hätte man z. B. in der ersten Stellung der Libelle die Zahl 8 und in der zweiten die Zahl 12 erhalten, so wird man bei dieser zweiten Stellung der Libelle den Endpunkt A der Rotationsachse so lange verstellen, bis der Mittelpunkt der Luftblase bei dem Teilstriche 10 steht, und dann ist die Rotationsachse horizontal, weil die Libelle in beiden Lagen dieselbe Zahl 10 zeigen wird. Dasselbe, was hier von der Rektifikation der Drehungsachse gesagt wurde, läßt sich auch auf die Horizontalstellung des Tisches anwenden, wenn man das eben angezeigte Verfahren in zwei auf einander senkrechten Richtungen durchführt.

Dieses Verfahren ist zugleich das einfachste und das sicherste, weil dabei die oben erwähnten Schrauben, welche den Fuß oder den Haken der Libelle verlängern oder verkürzen sollen, gar nicht weiter berührt werden. Die Bewegung jener Schrauben soll nämlich wo möglich vermieden werden, weil durch dieselbe das Gleichgewicht der einzelnen Teile gestört und eine Spannung in der metallenen Fassung erzeugt wird, die sich oft nur spät wiederherstellt.

Man sieht, daß man auf diese Weise eine Ebene oder eine Achse, selbst mittelst einer nicht rektifizierten Libelle horizontal stellen kann. Wenn aber der Fehler der Libelle, den man bei dem vorhergehenden Verfahren nicht weiter zu kennen braucht, zu groß ist, so wird die gefundene Zahl, die das Mittel aus den beiden gelesenen Zahlen ist, auch zu weit von der Mitte m der Einteilung entfernt sein, wie dies in unserem Beispiele bereits der Fall ist, wo das gefundene Mittel oder die Zahl 10 um volle 20 Teilstriche von der Mitte der Einteilung, die bei der Zahl 30 liegt, sich entfernt. Solche Fälle muß man vermeiden, weil die Krümmungen auch unserer besten Libellen am Rande derselben nur selten vollkommen kreisförmig sind, und weil am Ende jener Punkt so weit von der Mitte der Teilung wegrücken könnte, daß das eine Ende der Luftblase unter die metallene Fassung der Röhre zu liegen käme und gar nicht gesehen werden könnte.

Sobald etwas ähnliches eintritt, hänge man die Libelle mit ihren Haken an die Rotationsachse. Ist dann die Luftblase nicht in der Mitte der Teilung, so ist entweder die Achse nicht horizontal, oder die Oberfläche der Libelle jener Achse nicht parallel, d. h. die Libelle nicht rektifiziert, oder endlich, was gewöhnlich der

Fall sein wird, beide, Achse und Libelle sind fehlerhaft. Da man die Fehler eines jeden der beiden Instrumente nicht kennt, so ist es das Natürlichste, sie einander gleich anzunehmen. Man lasse daher den Mittelpunkt der Luftblase gegen den Mittelpunkt der Teilung den halben Weg durch die Schraube der Rotationsachse und die andere Hälfte des Weges durch die Korrektionsschraube des Libellenhakens zurücklegen. Hat man durch beide Schrauben die Blase in die Mitte der Teilung gebracht, so kehre man die Libelle um, so daß ihr östlicher Arm jetzt auf die Westseite der Rotationsachse kommt. Ist in dieser neuen Lage die Blase nicht in der Mitte, so verbessere man wieder wie zuvor, die eine Hälfte des Fehlers durch die eine und die andere Hälfte durch die andere Schraube und bringe sonach die Blase wieder in die Mitte der Teilung. Dann kehre man die Libelle neuerdings um und wiederhole dieses Verfahren der halbgeteilten Korrektion so lange, bis die Luftblase der Libelle in ihren beiden entgegengesetzten Lagen immer nahe in der Mitte der Teilung einspielt.

Durch dieses Verfahren wird, wie man sieht, die Drehungsachse und die Libelle zugleich rektifiziert. Es ist übrigens nicht notwendig, dasselbe so weit fortzusetzen, bis der Mittelpunkt der Blase in beiden Lagen der Libelle genau auf den Mittelpunkt der Teilung fällt, da es nach dem Vorhergehenden schon hinreicht, wenn beide Mittelpunkte nur einander nahe genug gebracht werden. Wenn z. B. die Blasenmitte in der ersten Lage der Libelle 20 und in der zweiten Lage 26 zeigt, so wird man nach dem zuvor gezeigten Verfahren *bloß* durch die Schraube der Rotationsachse die Blase auf die Mitte jener zwei Zahlen oder auf die Zahl 23 bringen und dadurch versichert sein, daß die so gestellte Rotationsachse auch genau horizontal ist, obschon die Libelle selbst noch nicht rektifiziert ist, da sie nach unserer Zeichnung (Fig. 124) nicht 23, sondern 30 zeigen sollte. Will man auch noch die Libelle rektifizieren, so wird man jetzt mittelst *ihrer* Korrektionsschraube den einen Haken derselben so viel verlängern oder verkürzen, daß der Mittelpunkt der Blase um 7 Teilstriche, von 23 auf 30 fortgeht.

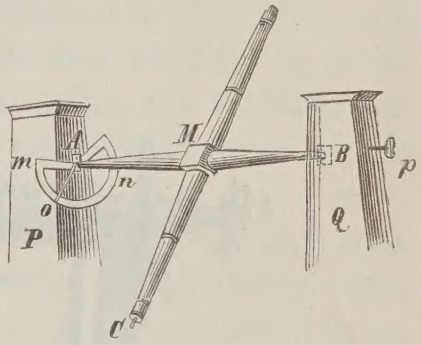
Es ist öfter erwünscht, ja notwendig, den Wert eines Teilstriches der Wasserwage in Sekunden zu kennen. Zu diesem Zwecke hat man eigene Niveauprüfer konstruiert; in Ermangelung eines solchen kann man sich dadurch helfen, daß man die Libelle an irgend ein höhenmessendes Instrument, etwa auf das Fernrohr eines Quadranten, und parallel zu demselben befestigt und nun Fernrohr und Libelle so bewegt, daß z. B. der Mittelpunkt der Blase 30 Teilstriche der Libelle durchläuft. Ändert dabei das Fernrohr seine Höhe um 20″, so folgt daraus, daß ein Teilstrich der Libelle 0·67″ gleichkommt. Muß man also die Achse eines Fernrohres bei der Rektifikation derselben z. B. um 12 Teilstriche der Libelle erheben, so weiß man, daß diese Erhebung 8″ beträgt.

§ 24. (Mittagsrohr.) Indem wir nun zur Besprechung der jetzt gebräuchlichen astronomischen Instrumente zurückkehren, wollen wir dieselbe mit dem *Mittagsrohre* oder *Passageninstrumente* wieder eröffnen.

Das Mittagsrohr gilt heute mit Recht als das geeignetste Instrument, den Durchgang der Gestirne durch den Meridian mit der größten erreichbaren Schärfe zu geben. Es wurde bereits von dem berühmten dänischen Astronomen, Olaus Römer erfunden, gelangte aber erst in unserem Jahrhunderte zur entsprechenden Würdigung, weil es in seiner einfachsten Gestalt bloß die Rektascensionen der Gestirne, also bloß unvollständige Positionen liefert, und in seiner Vervollständigung zum Meridiankreise (§ 27) in früheren Zeiten nicht mit der nötigen Präzision ausgeführt werden konnte, um erfolgreich mit dem Mauerquadranten (§ 4) in Konkurrenz zu treten.

Das Mittagsrohr (Fig. 125) besteht aus einer horizontalen Achse AB von Metall, durch deren Mitte M das Fernrohr CM in einer auf derselben senkrechten Stellung geht, während die Achse selbst mit ihren beiden äußersten cylindrischen Enden A und B, um die sie sich drehen läßt, auf soliden Pfeilern P und Q von Stein ruht. Wird daher die Rotationsachse AB genau in den Horizont und in die Richtung von Ost nach West gebracht, so liegt das Fernrohr in der Richtung von Süd nach Nord und geht, wenn es um die Achse AB gedreht wird, in der Ebene des Meridians auf und nieder, so daß man nur die Durchgänge der Sterne durch dieses Fernrohr an einer Uhr beobachten darf, um sofort auch die Uhrzeiten ihres Durchgangs durch den Meridian, d. h. um die Uhrzeiten ihrer Kulminationen zu erhalten.

Fig. 125.



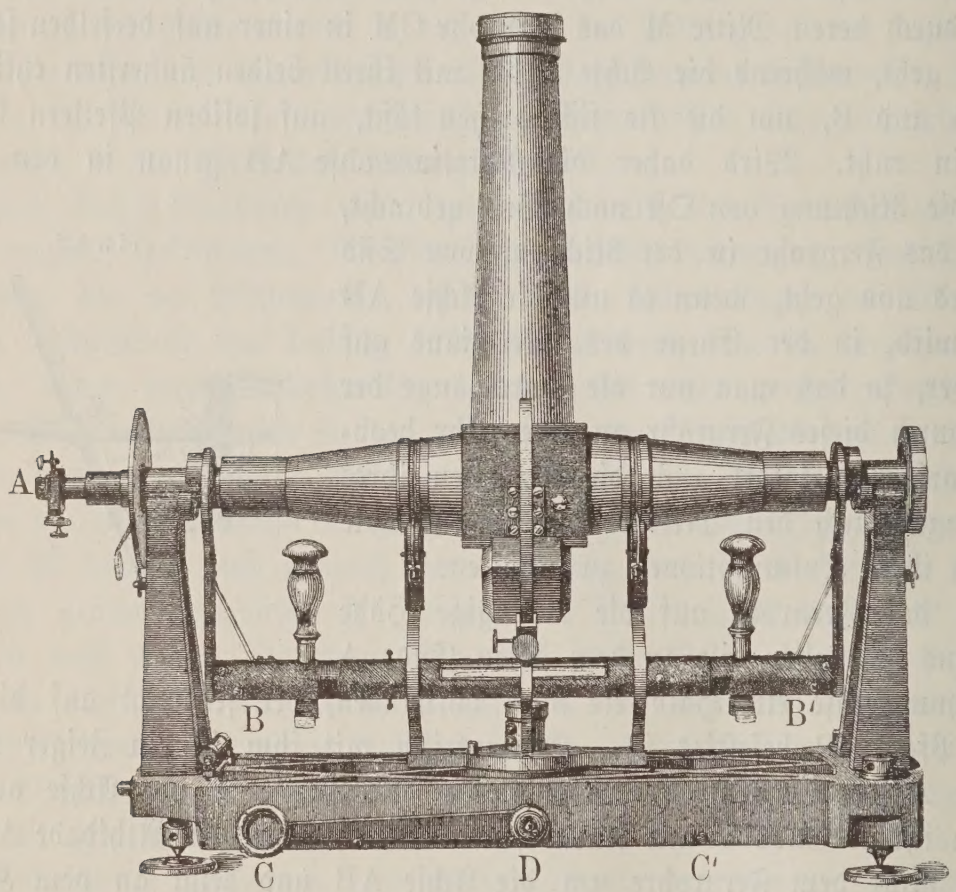
Um das Fernrohr auf die mittägige Höhe des Sterns zu stellen, ist an dem einen Ende A der Drehungsachse ein Halbkreis mon vorhanden, der senkrecht auf diese Achse an den Pfeiler P befestigt ist. Konzentrisch mit ihm ist ein Zeiger oder eine Alhidade Ao dem Fernrohre parallel an dem Ende A der Achse angebracht. Diese an ihrem Ende o mit einem feinen Striche versehene Alhidade Ao bewegt sich also samt dem Fernrohre um die Achse AB und zeigt an dem Kreise mn die Höhe des zu beobachtenden Gestirns bloß in ganzen Minuten an, da dies hinreicht, dasselbe in das Feld des Fernrohrs zu bringen.

Die beiden Enden A und B der Achse liegen auf doppelten, starken Metallplatten. Der eine Teil jeder Platte ist an dem Pfeiler fest; der andere, der eigentlich die Achsen-Enden trägt, läßt sich durch Schrauben an dem ersten hin- und wiederbewegen, und zwar der eine bei A senkrecht auf und ab, und der andere bei B horizontal vor- und rückwärts. Die letzte Bewegung setzt uns demnach in den Stand, die Drehungsachse genau in die Richtung von Ost nach West, d. h. das auf die Achse senkrechte Fernrohr in die Ebene des Meridians zu bringen: die erste dient dazu, das Ende A der Achse so lange zu erhöhen oder zu erniedrigen, bis sie genau horizontal ist.

Um für nächtliche Beobachtungen das Innere des Fernrohrs zu beleuchten, dient eine an der äußern Seite des Pfeilers angebrachte Lampe p, die ihr Licht durch den in der Richtung pB durchbohrten Pfeiler und durch die ebenfalls hohle Drehungsachse BM auf einen kleinen Spiegel wirft, der im Innern des Fernrohrs bei M unter einer gegen BM schiefen Stellung aufgestellt ist, so daß er das von der Lampe empfangene Licht gegen das Okular C des Fernrohrs reflektiert.

Schließlich sei noch erwähnt, daß man durch Anwendung sogenannter gebrochener Fernrohre, bei denen der vom Objektive kommende Lichtstrahl durch einen Spiegel oder ein Prisma senkrecht auf die Achse des Rohres in das Okular abgelenkt wird, das halbe oder ganze Fernrohr in die horizontale Drehungsachse des Instrumentes legen kann, je nachdem man das Prisma in die Mitte oder an das eine Ende dieser Achse stellt, während das Okular am anderen Ende steht. Das Passageninstrument gewinnt dadurch eine äußerst kompendiöse Form, die es auch sehr leicht transportabel macht, weshalb solche portative Mittagsrohre sich besonders zur Aufstellung in temporären Observatorien und Privatsternwarten eignen, ja sogar ohne große Schwierigkeiten auf Reisen mitnehmen lassen. Derartigen Instrumenten haben Pistor und Martins eine äußerst

Fig. 126.



elegante, und zum Gebrauche vorzüglich bequeme Gestalt gegeben, wie der obenstehende Holzschnitt (Fig. 126) zeigt. Als besondere Vorzüge dieser Konstruktion wären neben großer Stabilität hervorzuheben: daß das Okular A in jeder Lage des Instrumentes dieselbe Stellung unverändert beibehält; daß die Libelle BB' stets eingehängt bleiben kann, man daher jeden Augenblick in der Lage ist, sich durch einen Blick auf diese von der unveränderten Stellung der Rotationsachse zu überzeugen, und daß das zur Bestimmung des Kollimationsfehlers (§ 25) nötige Herausheben des Instrumentes aus seinen Lagern und Umwenden desselben durch eine einfache Drehung des Hebelarmes CD um 180° (in die Lage DC') bewerkstelligt werden kann.

§ 25. (Rektifikation des Mittagsrohrs). Wir haben schon einmal (§ 9) Veranlassung genommen, darauf hinzuweisen, daß man jedes Instrument in allen seinen Teilen *berichtigen* oder *rektifizieren* müsse, ehe man Beobachtungen mit demselben anstellt. Wir wollen nun die wichtigsten dieser Operationen beim Mittagsrohre etwas ausführlicher erörtern, da sich die meisten derselben auch auf die noch ferner anzuführenden Instrumente fast unverändert anwenden lassen.

Zuerst wollen wir bemerken, daß die Drehungsachse AB (Fig. 125) horizontal sein muß, wenn die *Kollimationslinie*, wie man die Achse (§ 5) der beiden Linsen (Objektiv und Okular) zu nennen pflegt, welche auf der Rotationsachse AB senkrecht steht, einen Vertikalkreis, was ja auch der Meridian ist, beschreiben soll.

Die Art und Weise, auf welche man mit Hilfe einer Libelle die Drehungsachse eines Fernrohres horizontal stellen, oder die Größe einer kleinen Neigung derselben gegen den Horizont bestimmen kann, wurde § 23 eingehend erörtert, so daß wir in Bezug darauf nur dorthin zu verweisen haben.

Ferner wollen wir bemerken, daß man durch den Brennpunkt des Fernrohres einen auf die Achse der beiden Linsen (§ 5) senkrechten Faden in vertikaler Richtung einspannt. Dieser Faden stellt daher, wenn das ganze Instrument richtig steht, den Teil des Meridians vor, nach welchem das Fernrohr gerichtet ist, und der Augenblick, in welchem ein Stern hinter diesem Faden gesehen wird, ist der der Kulmination dieses Sterns.

Um aber dem Faden die bezeichnete Stellung zu geben, in welcher er erstens senkrecht auf der Achse der beiden Linsen liegt, zweitens genau durch den Brennpunkt geht und drittens in einer auf den Horizont vertikalen Ebene steht, ist dieser Faden im Innern des Fernrohrs an einem feinen metallenen Ringe angebracht, welcher durch eigene Schrauben nach allen Richtungen bewegt werden kann. Da dieser Ring gewöhnlich schon von dem Künstler senkrecht auf die Linsenachse gestellt wird und da auch ein kleiner Fehler in dieser Stellung keine nachteiligen Folgen hat, indem man immer nur in der Nähe der Mitte dieses Fadens beobachtet, so kann man in den meisten Fällen von den oben aufgezählten Forderungen die erste als schon erreicht betrachten.

Nicht so ist es mit der zweiten oder der Bedingung, daß der Faden auch genau durch den Brennpunkt des Rohres gehe. Diese Untersuchung teilt sich in zwei von einander wesentlich verschiedene. Es kann nämlich der zur Linsenachse senkrecht stehende Faden zwar durch diese Achse gehen, aber zu weit vor oder hinter dem Brennpunkte, d. h. zu nahe oder zu fern von dem Objektive des Fernrohrs stehen. Oder er kann auch, obschon er in derselben Entfernung wie der Brennpunkt von dem Objektive ist, doch noch zur Seite dieses Brennpunktes rechts oder links von ihm liegen.

Ehe aber der Beobachter an diese beiden Korrektionen geht, muß er die Entfernung der beiden Linsen seinem Auge gemäß ändern. Aus den gemeinsten Erfahrungen an jedem Theaterperspektive ist bekannt, daß der Kurzsichtige, wenn er durch ein solches Instrument gut sehen soll, dasselbe verkürzen oder die beiden Linsen einander näher rücken muß, während der Weitsichtige sie von einander entfernt. Auch muß jeder von ihnen, wenn er gut sehen will, diese Distanz der Linsen etwas ändern, falls er sehr nahe oder sehr entfernte Gegenstände beobachtet. Dasselbe gilt auch für astronomische Fernrohre. Da aber diese vorzugsweise für die himmlischen, d. h. für sehr weit entfernte Gegenstände bestimmt sind, so wird der Beobachter ohne alle Rücksicht auf jenen Faden sein Fernrohr zuerst auf ein Gestirn richten und sein Okular so lange verstellen, bis er das Gestirn deutlich sieht. Am besten zu diesem Zwecke wird man die Doppelsterne wählen, von welchen in ähnlicher Beziehung schon oben (II, § 192) gesprochen wurde. Wenn man nun durch die Verschiebung des Okulars es dahin gebracht hat, daß man einen Doppelstern ganz rein und deutlich sieht, so wird man vielleicht den Faden nur sehr schlecht in der Form eines grauen, breiten Streifens erblicken, zum Zeichen, daß er entweder zu nahe an oder zu ferne von dem Okulare steht. Denn in der wahren Entfernung von dem Okulare, d. h. wenn er im Brennpunkte desselben steht, der nach dem Verfahren mit dem Sterne auf den Brennpunkt des Objektives fällt, erscheint er schwarz und scharf begrenzt. In diesem Falle wird man also mittelst der dazu bestimmten Schraube den, den Faden tragenden Ring in der Richtung der Länge des Fernrohrs so lange verschieben oder seine Distanz von dem Objektive ändern, bis er dem Auge völlig rein erscheint. Diese Ansicht des Fadens ist wohl hinreichend, ihn dem Brennpunkte sehr nahe zu bringen, aber sie genügt nicht, um ihn mit der größten Schärfe genau durch diesen Brennpunkt selbst zu führen. Zu diesem letzten Zwecke wird man nach jener ersten rohen Berichtigung des Fadens das Fernrohr auf irgend ein weit entferntes, wohl begrenztes Objekt, z. B. auf die Ecke einer Turmspitze richten und den Faden mit dieser Ecke in genaue Berührung bringen. Dann bewegt man das Auge vor dem Okular rechts und links so weit, daß man nur eben noch durch das Fernrohr den Faden sehen kann und merkt genau auf, ob auch in den beiden äußersten Lagen des Auges jene Berührung genau statthat. Tritt dieser Umstand zufällig ein,

so wird man sich versichert halten, daß der Faden, wenn er auch nicht durch den Brennpunkt geht, doch in einer durch diesen Brennpunkt auf die Linsenachse senkrechten Ebene liegt. Wenn aber, während das Auge sich vor dem Okulare bewegt, der Faden auf dem terrestrischen Objekte nicht fest bleibt, sondern ebenfalls sich zu bewegen scheint, so ist dies ein Zeichen, daß er noch nicht in der erwähnten Ebene, sondern hinter oder vor ihr liegt. Welcher von diesen beiden Fällen statthat, findet man durch folgende einfache Vorschrift: wenn bei der Bewegung des Auges Auge und Faden nach derselben Seite, z. B. beide rechts gehen, so steht der Faden zu nahe am Objektiv und muß von ihm entfernt werden; gehen aber Auge und Faden auf entgegengesetzte Seiten, z. B. jenes rechts und dieser links, so steht der Faden zu weit von dem Objektive und muß demselben genähert werden. Eigentlich scheint es dem Beobachter, als ob nicht der Faden, sondern das Bild beweglich wäre, wenn er sein Auge in verschiedene Stellungen vor das Okular bringt. Diesem Scheine gemäß kann man daher die vorhergehende Regel auch so stellen: wenn Auge und Bild des terrestrischen Gegenstandes auf verschiedene Seiten gehen, so ist der Faden zu nahe an dem Objektive; wenn Auge und Bild auf dieselbe Seite gehen, so ist er zu weit von demselben und muß ihm daher so lange genähert werden, bis das Auge während seiner eigenen Bewegung keine Änderung des Bildes mehr bemerkt. Dieses Verfahren ist übrigens für Weit- und Kurzsichtige dasselbe; denn wenn auf diese Art der Faden in seine wahre Lage gebracht ist, so wird der Weitsichtige sowohl als der Myope nur das Okular seinem eigenen Auge gemäß verändern, um sofort wieder sowohl den Faden als das Gestirn deutlich zu sehen.

Durch diese erste Berichtigung ist der Faden in die Ebene gebracht, die senkrecht auf die Linsenachse durch den Brennpunkt geht, ohne daß er deshalb auch selbst schon durch diesen gehen muß, von dem er vielmehr in jener Ebene noch rechts oder links abstehen kann.

Zum Behufe der Korrektion dieses Fehlers hebt man das ganze Instrument ABCD (Fig. 125) aus seinen Lagern bei A und B heraus und bringt es dann in verkehrter Lage wieder in diese Lager zurück, so daß z. B. der Endpunkt A der Drehungsachse, der früher östlich lag, jetzt auf das westliche Lager B zu liegen kommt, wodurch die Röhre CD um ihre Achse um die Hälfte der Peripherie eines Kreises gedreht wird. Wenn die Mitte des Fadens vor und nach der Umlegung denselben Punkt des terrestrischen Gegenstandes trifft, so ist dies ein Zeichen, daß sie mit dem Brennpunkte des Fernrohrs oder, was eigentlich gefordert wird, mit derjenigen optischen Achse zusammenfällt, welche senkrecht auf der Rotationsachse AB steht. Ist dies aber nicht der Fall, so verbessert man nach der Umlegung die Hälfte des bemerkten Fehlers, den man *Kollimationsfehler* nennt, durch diejenige Schraube, welche den oben erwähnten Fadenring in horizontaler Richtung hin und her bewegt. Da es nicht immer leicht ist, den beobachteten Fehler, besonders wenn er bedeutend, genau zu halbieren, wird

man das angezeigte Verfahren öfter wiederholen, wodurch jener Fehler immer kleiner und endlich ganz unmerklich werden muß.

Durch die eben erwähnten Operationen ist eine Hauptbedingung für die Richtigkeit der mit dem Mittagsrohre auszuführenden Beobachtungen erfüllt, da nur so der Faden eine bestimmte Lage gegen das Bild behält. Was nun endlich die dritte oben erwähnte Korrektion des Fadens betrifft, wollen wir uns ins Gedächtnis zurückrufen, daß, wenn man die Umdrehungsachse vorher schon horizontal gestellt hat (§ 23), die Kollimationslinie des Fernrohrs bereits einen Vertikalkreis beschreibt. Dadurch haben wir zugleich auch ein leichtes Mittel erhalten, den oben in dem Brennpunkte der beiden Linsen senkrecht auf die Achse derselben gespannten Faden vollkommen vertikal oder zu dem Horizonte senkrecht zu stellen; man darf nämlich nur diesen Faden, indem man das Fernrohr sanft auf- und abwärts bewegt, an irgend einem wohl markierten Punkte eines scharf begrenzten terrestrischen Objektes auf und nieder laufen lassen. Wenn bei dieser Bewegung des Fernrohrs der Faden nicht immer genau durch diesen Punkt des Objekts geht, so dreht man den oben erwähnten Fadenring mit einer eigens dazu bestimmten Schraube so lange in seiner eigenen Ebene um seinen Mittelpunkt, bis er jener Forderung genügt.

Gewöhnlich spannt man zu beiden Seiten des mittleren Fadens noch einen oder auch mehrere mit jenem parallele und unter sich gleich weit entfernte Fäden auf, um die Beobachtungen der Durchgänge der Sterne zu vervielfältigen, indem man das arithmetische Mittel aus allen Antrittszeiten als eigentliche Beobachtung gelten läßt. Man kann ihren Parallelismus prüfen, wenn man einen Stern einmal durch die oberen und ein anderes Mal durch die unteren Endpunkte dieser Fäden gehen läßt und zusieht, ob die Zeitintervalle für jedes Fädenpaar aus jenen beiden Beobachtungen genau dieselben sind. Endlich wollen wir bemerken, daß man dieser Reihe von senkrechten, unter sich parallelen Fäden gewöhnlich noch einen anderen darauf senkrechten oder horizontalen hinzufügt, der dazu dient, die zu beobachtenden Sterne alle nahe durch dieselben Punkte der vertikalen Fäden, nämlich in der Nähe dieses horizontalen durchgehen zu lassen, um etwaige geringe Abweichungen in deren Parallelismus unschädlich zu machen.

Nachdem so die Drehungsachse des Mittagsrohres genau horizontal gestellt und das Fadennetz derart berichtigt ist, daß die Vertikalfäden in einer auf den Horizont senkrechten Ebene, d. h. in einem Vertikalkreise auf und nieder gehen, erübrigt nun noch dafür zu sorgen, daß dieser Vertikalkreis auch der Meridian sei, in dessen Ebene das Instrument sich ja bewegen soll.

Um das Instrument zunächst nahe in den Meridian zu bringen, ist es am einfachsten, sich der Kulmination der Sonne oder irgend eines anderen Gestirnes zu bedienen, dessen Rektascension man kennt, indem man zuerst den Stand seiner Uhr auf eine der früher mitgeteilten Arten bestimmt, und dann die Achse des Instruments (Fig. 125) an dem B Ende mit Hilfe der dort befindlichen Schrauben

derart in horizontaler Richtung verschiebt, daß das Gestirn gerade zu der seiner Rektascension entsprechenden Uhrzeit kulminiert.

Wegen der raschen Bewegung der Sterne, die in der Nähe des Äquators stehen, ist es aber schon an und für sich schwierig, das Instrument mit Hilfe eines solchen Sternes so zu stellen, daß er genau zur festbestimmten Zeit den Hauptfaden passiert: überdies wirkt auch jeder Fehler in dem angenommenen Stande der Uhr sehr schädlich ein. Man wendet daher, nachdem man durch das obige Verfahren mittelst eines dem Äquator nahen Sternes das Mittagsrohr der Ebene des Meridians schon sehr nahe gebracht hat, dieses Verfahren auf einen dem Pole nahen Stern nochmals an: d. h. man verschiebt die Rotationsachse des Fernrohrs so lange, bis er zur bekannten Zeit seiner Kulmination eben hinter dem Hauptfaden steht. Dies läßt sich wegen der langsamen Bewegung der Polsterne mit großer Bequemlichkeit und Sicherheit ausführen: auch wirkt jetzt, eben wegen der langsamen Ortsänderung des Sternes mit der Zeit, ein Fehler im angenommenen Stande der Uhr natürlich viel weniger schädlich ein, als früher.

Damit haben wir die wesentlichsten Korrektionen des Mittagsrohrs kennen gelernt, die man mit aller Sorgfalt vornehmen muß, ehe man an die eigentlichen Beobachtungen mit diesem Instrument geht. Da es schwer ist, diese drei Fehler: der auf die Drehungsachse senkrechten Stellung der Kollimationslinie, der Horizontalität der Drehungsachse und des Azimuts des Fernrohrs, durch bloße mechanische Mittel, wie Schrauben und dergleichen sind, völlig wegzubringen, und da sich auch diese Fehler durch äußere Einwirkungen auf das Instrument häufig ändern, so ziehen es die neueren Beobachter vor, diese Fehler nur thunlichst klein zu machen, und dann den Rest derselben oder vielmehr die Wirkung dieser Reste auf die künftigen Beobachtungen in Rechnung zu bringen: ein Verfahren, das viel genauer ist, als jenes, das sich aber hier ohne Umständlichkeit nicht gut vortragen läßt.

Außer den eben genannten wesentlichsten Fehlern giebt es beim Passageninstrumente noch eine Reihe anderer, aber bei gut gearbeiteten Instrumenten nur beim Anstreben der äußersten Genauigkeit merkbarer Fehler, die wir daher nur ganz kurz berühren wollen. Man sieht z. B. ohne unsere Erinnerung, daß der Künstler, welcher solche Instrumente verfertigt, die Endpunkte A und B der Drehungsachse, mit welchen diese Achse eigentlich auf ihren Lagern aufliegt, mit der größten Sorgfalt herstellen muß. Diese Endteile der Achse sind Cylinder mit kreisförmiger Basis. Wenn nun diese Basis bei dem einen oder dem anderen Endpunkte der Achse kein vollkommener Kreis, sondern z. B. eine Ellipse ist, oder wenn sie auch beide Kreise, aber von verschiedenem Durchmesser sind, oder wenn beide Cylinder einander nicht genau gegenüberstehen u. s. w., so begründen diese Unvollkommenheiten der mechanischen Ausführung, die doch der Künstler nicht wohl gänzlich vermeiden kann, ebenso viele Fehlerquellen, auf welche der

Beobachter, da er sie nicht, wie jene drei, wegschaffen oder doch so viel möglich vermindern kann, bei der Berechnung seiner Beobachtungen Rücksicht nehmen muß. Schwerer noch ist es, diejenigen Fehler zu bestimmen, die von der Wirkung der Schwere auf das Fernrohr in den verschiedenen Lagen desselben gegen den Horizont kommen, sowie jene, welche z. B. bei Sonnenbeobachtungen die Temperatur in den verschiedenen Teilen des Instruments erzeugt. Um diese letzten Fehler wenigstens so viel möglich zu vermeiden, hat man eigene Beschirmungen, welche nicht nur das Instrument, sondern auch die beiden Pfeiler P und Q in Schatten stellen, so daß nur das Objektiv D des Fernrohrs den Sonnenstrahlen bloßgelegt wird.

Noch muß erwähnt werden, daß man früher für diese, sowie überhaupt für alle in dem Meridian aufgestellte Instrumente in Entfernungen von 3 bis 4 km in Nord und Süd eigene Meridianzeichen oder sogenannte Miren zu errichten pflegte, Säulen oder Pfeiler, die in ihren höchsten Teilen mit einer eingeteilten Skale versehen sind, deren Striche sich durch das Fernrohr gut lesen lassen, und durch deren Hilfe man nicht nur die Richtung des Meridians sehr genau bestimmen, sondern auch das Fernrohr leicht wieder darauf zurückführen kann, wenn es sich durch irgend einen Zufall davon entfernt hat. In neuerer Zeit wendet man zu diesem Zwecke kleine, auf Pfeilern im Meridiane horizontal befestigte Fernrohre, sogenannten Kollimatoren, an, was deshalb bequemer ist, weil diese entweder im Beobachtungsraume selbst, oder mindestens noch im Garten der Sternwarte angebracht werden können, daher unter beständiger Kontrolle des Astronomen stehen.

§ 26. (Beobachtungen mit dem Mittagsrohre.) Ein gehörig rektifiziertes Mittagsrohr bietet bei weitem das bequemste und sicherste Mittel zur Zeitbestimmung dar: es wird deshalb auch von den Astronomen auf ständigen Sternwarten die Zeit, oder was, wie wir wissen, auf dasselbe hinauskommt, die Korrektion der Uhr ausschließlich mittels des Passagen-Instruments bestimmt. Es wurde auch bereits früher einmal erwähnt (I, § 97), daß man auf Sternwarten außer Uhren, die mittlere Zeit zeigen, stets auch solche besitzt, die nach Sternzeit gehen, die also gegen die ersteren täglich sehr nahe um $3^m\ 56^s$ voreilen, und daß gerade diese es sind, an welchen so gut wie alle Beobachtungen ausgeführt werden. Daß eine astronomische Uhr außerdem eine gute sein, d. h. daß sie vor allem gleichförmig gehen, oder daß ihr Gang (§ 20) sehr nahe konstant sein müsse, sei nur der Vollständigkeit wegen hier nochmals wiederholt.

Um nun für jeden Augenblick die Abweichung der Uhr von der wahren Sternzeit zu finden, wird man das Mittagsrohr (Fig. 125) mittels des Index Ao des Kreises mn auf die mittägige Höhe eines Fixsterns stellen, dessen Rektascension man genau kennt und abwarten, bis er die Fäden des Fernrohrs passiert. Es sei dieser Stern Aldebaran oder α im Stier, dessen Rektascension $4^h\ 26^m\ 25{\cdot}3^s$ betrage. Gesetzt nun, das Fernrohr sei mit drei von einander gleich weit ent-

fernten senkrechten Fäden versehen, deren mittlerer im Meridian stehe, und man habe die Uhrzeiten des Durchgangs des Sterns durch diese Fäden gefunden, wie folgt:

Durch den ersten Faden, Uhrzeit $4^h\ 26^m\ 54{\cdot}2^s$
mittleren . . . . $4\ 27\ 39{\cdot}3$
dritten . . . . $4\ 28\ 23{\cdot}8$

Nimmt man das Mittel aus diesen drei Beobachtungen, so erhält man

$4^h\ 27^m\ 39{\cdot}1^s$

für die Uhrzeit desjenigen Augenblicks, an dem der Stern durch den Meridian ging. Allein die wahre Sternzeit dieses Augenblicks ist bekanntlich (I, § 97) gleich der Rektascension des Sternes, oder: $4^h\ 26^m\ 25{\cdot}3^s$, und die Differenz dieser beiden Zahlen $1^m\ 13{\cdot}8^s$: also ging auch die Uhr um die Zeit, wo sie $4^h\ 28^m$ zeigte, um $1^m\ 13{\cdot}8^s$ gegen Sternzeit voraus, oder sie zeigte um $1^m\ 13{\cdot}8^s$ zu viel.

Hätte man ebenso an demselben Tage durch eine andere Beobachtung, z. B. von Wega oder α der Leier, dessen Rektascension $18^h\ 31^m\ 19{\cdot}2^s$ sei, gefunden, daß die Uhr zu dieser Uhrzeit um $1^m\ 14{\cdot}2^s$ gegen Sternzeit voraus ist, so folgt daraus, daß sie in $14^h\ 5^m$ Uhrzeit um $0{\cdot}4^s$ gegen Sternzeit vorausgeht, so daß sie, wenn man ihren Gang gleichförmig annimmt, in jeder Stunde um $0{\cdot}028^s$ gegen Sternzeit vorauseilt. Aus mehreren solchen Beobachtungen wird man das Mittel nehmen, um so den Stand und Gang der Uhr gegen Sternzeit mit aller nur wünschenswerten Schärfe zu bestimmen. (Vgl. § 14.)

Hat man auf diese Art den Zustand der Uhr vollkommen kennen gelernt, so besteht die zweite Hauptaufgabe des Mittagsrohrs in der Bestimmung der Rektascension solcher Gestirne, deren Ort am Himmel man noch nicht kennt. Zu diesem Ende wird man kurz vor der Kulmination des Gestirns das Fernrohr auf dasselbe stellen und wieder die Uhrzeiten der Durchgänge desselben durch die drei Fäden bemerken. Gesetzt, man habe an demselben Tage von irgend einem Planeten beobachtet

am ersten Faden die Uhrzeit $10^h\ 43^m\ 16{\cdot}2^s$
mittleren . . . . . $10\ 44\ 20{\cdot}4$
dritten . . . . . $10\ 45\ 24{\cdot}3$

Das Mittel dieser 3 Zahlen $10^h\ 44^m\ 20{\cdot}3^s$ ist also die Uhrzeit der Kulmination des Planeten. Allein die Uhr zeigte um $4^h\ 28^m$ Uhrzeit bereits $1^m\ 13{\cdot}8^s$ gegen Sternzeit zu viel und acceleriert in jeder Stunde um $0{\cdot}028^s$; also war sie zur Zeit der Beobachtung des Planeten um $1^m\ 13{\cdot}98^s$ gegen Sternzeit voraus, oder der Planet kulminierte um $10^h\ 43^m\ 6{\cdot}32^s$ Sternzeit, und dies ist daher auch die gesuchte Rektascension desselben.

Bei der Bestimmung von Rektascensionen nach dieser Methode fällt, wie man sofort bemerkt, auch die Güte der Uhr, nämlich ein regelmäßiger, konstanter Gang derselben wesentlich ins Gewicht. Ein solcher ist um so unerläßlicher, als

jeder Fehler in dem angenommenen Stande der Uhr, in Bögen umgesetzt, 15mal größer ausfällt, also z. B. ein Fehler von 1^s die Rektascension schon um 15″ oder $^1/_4{}'$ unrichtig macht. Es empfiehlt sich daher auch heute noch, trotz der Vorzüglichkeit unserer Uhren, die Bestimmung ihres Standes und die der Rektascension der unbekannten Sterne nahe gleichzeitig vorzunehmen.

In unseren Tagen hat das Mittagsrohr übrigens noch weitere Bedeutung durch den Gebrauch desselben zur Bestimmung der geographischen Breite ꝛc. erhalten, den schon sein Erfinder Olaus Römer im Anfange des 18. Jahrhunderts vorgeschlagen, dessen Vorzüge aber erst durch Bessel zu allgemeiner Anerkennung gebracht wurden. Stellt man nämlich dieses Instrument so auf, daß seine Achse im Meridiane liegt und das Fernrohr sich im ersten Vertikale, d. h. in dem durch den Ost- und Westpunkt gehenden Höhenkreise bewegt, so kann man damit die Durchgänge von Sternen durch diesen beobachten, die für unsere Hemisphäre südlich vom Zenithe kulminieren. Die Zeitintervalle zwischen je zwei Durchgängen eines und desselben Sternes werden, wieder für unsere Hemisphäre, desto größer, je näher der Beobachtungsort dem Nordpole liegt, und umgekehrt; man kann also aus der Größe jenes Intervalles auf die Polhöhe des Beobachtungsortes schließen.

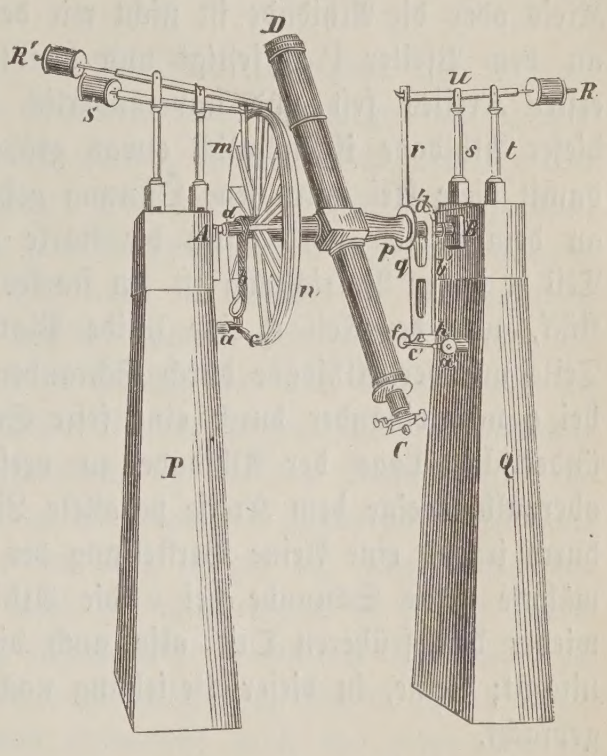
Derselbe Schluß läßt sich aber auch auf die Deklination der Sterne anwenden; denn wie aus einer einfachen Zeichnung sofort ersichtlich ist, wird das Zeitintervall zwischen dem Durchgange eines Sternes durch den östlichen und westlichen Teil des ersten Vertikales desto kürzer werden, je näher er dem Zenithe kulminiert. Die Kulminationshöhe hängt aber bekanntlich auf eine einfache Weise mit der Deklination des Gestirnes zusammen (Einl., § 18); daher wird man auch aus dem obengenannten Intervalle bei bekannter Polhöhe auf die Deklination des Sternes schließen können. Ohne hier auf eine nähere Erörterung dieser Verhältnisse eingehen zu können, bemerken wir nur noch, daß diese Methode besonders dann außerordentliche Vorteile darbietet, wenn es sich bloß um die Differenz der Deklination zweier Sterne, oder auch um die Änderung der Deklination eines Sternes in einem gewissen Zeitraume handelt. Diese Methode ist daher besonders geeignet, die Änderungen zu studieren, welche durch die Aberration oder Nutation (I, § 45, 56) in den Deklinationen der Gestirne hervorgebracht werden, und damit den Betrag dieser Größen festzustellen, wie nicht minder auch zur Erforschung der kleinen periodischen Schwankungen der Erdachse, auf die wir am entsprechenden Orte (III, § 26) hingewiesen haben.

§ 27. (Meridiankreis.) Wir haben die Besprechung des Mittagsrohres mit der Bemerkung eingeleitet, daß es sich die ihm gebührende Bedeutung deshalb lange nicht erringen konnte, weil es bloß die Rektascensionen, und nicht auch zugleich die Deklinationen der Gestirne zu bestimmen gestattete. Seine Vervollständigung in dieser Beziehung rührt zwar auch schon von Olaus Römer her; sie besteht einfach darin, daß man das Mittagsrohr mit einem auf das Genaueste

eingeteilten Kreise versieht, dessen Ebene sich in der des Meridianes befindet: allein die Realisierung dieses einfachen Gedankens in der erforderlichen Genauigkeit war mit so großen Schwierigkeiten verknüpft, daß sie erst in diesem Jahrhundert deutschen Künstlern gelang.

Denken wir uns nämlich, daß am Pfeiler P des Mittagsrohres (Fig. 125, S. 933) statt des kleinen, nur roh eingeteilten Halbkreises mn, wie er zum bloßen Aufsuchen eines Sternes genügt, ein feingeteilter großer Vollkreis befestigt wird, an dem man die Höhe des Gestirnes während seines Durchganges durch den Meridian mit der größten Genauigkeit ablesen kann, so erhält man damit sofort die Deklination des Gestirnes, falls die Äquatorhöhe (d. i. die Ergänzung der Polhöhe oder geographischen Breite zu 90°) des Beobachtungsortes bekannt ist, indem bekanntlich die Kulminationshöhe eines Sternes um die Äquatorhöhe vermindert, seine Deklination ergiebt. (Einl., § 18.)

Fig. 127.



Auf diese Weise entstand der Meridiankreis, den man nach seinen vorzüglichsten Teilen in Fig. 127 so abgebildet sieht, wie er nach Bessel's Angaben zuerst in Deutschland von Reichenbach ausgeführt wurde.

Man bemerkt hier wieder, wie bei dem Mittagsrohre, die auf den beiden Pfeilern P und Q ruhende horizontale Drehungsachse AB, in deren Mitte das darauf senkrechte Fernrohr CD angebracht ist. Die beiden Enden A und B dieser Drehungsachse ruhen auf Lagern, die mit ihren Pfeilern durch zwei Metallstücke in Verbindung sind, deren jedes aus zwei starken Platten besteht. Die ersten, dem Pfeiler nächsten Platten sind an ihm befestigt; die anderen, welche die eigentlichen Lager tragen, auf denen die cylindrischen Enden der Rotationsachse aufliegen, lassen sich an den ersten Platten durch Schrauben bewegen, und zwar die eine auf und nieder, um dadurch die Rotationsachse mittelst der Libelle horizontal zu stellen, und die andere im Horizonte vor- und rückwärts, um sie dadurch senkrecht auf den Meridian oder das Fernrohr CD in dessen Ebene zu bringen.

An dem einen Ende der Rotationsachse sind zwei konzentrische, zu ihr senkrechte Kreise mn angebracht. Die Peripherien dieser in einer Ebene liegenden Kreise sind einander so nahe, daß sie sich beinahe berühren. Der größere oder äußere derselben ist an seinem mit Silber eingelegten Limbus in Grade und

Minuten eingeteilt und mit der Rotationsachse fest und unveränderlich verbunden, so daß er sich wie das Fernrohr zugleich mit dieser Achse dreht. Der kleinere oder innere Kreis, der auch die Alhidade genannt wird, trägt an 4 Orten seines Limbus, von welchen je 2 einander gegenüberstehen, einen Vernier, (in neuerer Zeit ausschließlich ein Ablesungsmikroskop) um dadurch, wie wir weiter unten sehen werden, die Minuten des anderen Kreises noch weiter unterzuteilen, so daß man an den größeren Instrumenten dieser Art unmittelbar Sekunden lesen und selbst noch Bruchteile derselben schätzen kann. Den Vernier's können wir einstweilen einfache, feine gerade Linien substituieren, die am Rande des inneren Kreises, in der Richtung des Halbmessers gezogen sind und mittelst welcher man die Lage des äußeren Kreises gegen den festen inneren ablesen kann. Der zweite Kreis oder die Alhidade ist nicht wie der erste an der Drehungsachse AB, sondern an dem Pfeiler P befestigt und bleibt daher auch während der Drehung des ersten Kreises fest und unveränderlich stehen. Die Öffnung im Mittelpunkte dieser Alhidade ist nämlich etwas größer als das Ende A der Drehungsachse, damit diese frei durch jene Öffnung gehen kann. Die Befestigung der Alhidade an dem Pfeiler wird durch die starke metallene Vorrichtung ad bewirkt. Der Teil a dieser Vorrichtung ist ein starkes, in den Pfeiler fest eingemachtes Eisenstück, und der Teil d eine solide Platte von Messing, die an ihrem obersten Teile mit der Alhidade durch Schrauben fest verbunden ist. Beide Teile hängen bei c mit einander durch eine feste Schraube zusammen. Um sich der unveränderlichen Lage der Alhidade zu versichern, wird an die Speichen derselben oberhalb d eine dem Kreise parallele Libelle befestigt. Wenn sich diese Libelle durch irgend eine kleine Verstellung der Alhidade ändert, so wird durch die erwähnte feine Schraube bei c die Alhidade bewegt, bis die Blase der Libelle wieder den früheren Ort, also auch die Alhidade wieder ihre erste Stelle einnimmt; kleine, in dieser Beziehung noch erübrigende Fehler werden in Rechnung gebracht.

Eine ähnliche Vorrichtung hat man auch an dem anderen Ende B der Rotationsachse. Man sieht hier das in dem Pfeiler Q befestigte Eisenstück a' und die solide Hülse b' von Messing. Diese Hülse umgiebt in ihrem oberen Teile bei d' die Rotationsachse so, daß diese ungehindert durch die etwas größere Öffnung der Hülse gehen kann. Durch die Mitte dieser Hülse und längs der Richtung c'd' geht eine metallene, oben mit einem Gewinde versehene Stange, deren unteres Ende mit einer kleinen geränderten Scheibe versehen ist, die man bei h sieht, mittels welcher man jene Stange bequem drehen kann. Bewegt man die Schraube h rückwärts, so geht das obere Ende d' der Stange herab und läßt die Rotationsachse frei, daher man sie jetzt mit dem Fernrohr und dem an sie befestigten äußern Kreise drehen und das Fernrohr nahe auf den eben zu beobachtenden Stern so stellen kann, daß er wenigstens in dem Felde des Fernrohrs erscheint. Hat man dies erlangt, so muß man nun noch das Fernrohr

samt seinem äußeren Kreise etwas weniges bewegen, um auch den horizontalen Faden im Brennpunkte des Fernrohrs (vergleiche oben) genau auf das Gestirn zu stellen. Um dies mit Sicherheit zu bewirken, schraubt man zuerst die Stange durch ihre vertikale Schraube h wieder aufwärts, wodurch ihr oberer Teil d' an die Rotationsachse angedrückt und diese dadurch samt Kreis und Fernrohr gleichsam festgestellt wird. Jetzt kann man mittelst einer anderen feinen horizontalen Schraube fc', deren geränderte Köpfe bei f und a' stehen, die Platte c'd', also auch die nun an sie befestigte Rotationsachse sanft und so lange bewegen, bis der Stern von dem horizontalen Faden des Fernrohrs bedeckt wird. In diesem Zustande liest man den Ort der 4 Ablesungsmikroskope der Alhidade an dem äußeren Kreise ab, und das Mittel aus diesen 4 Ablesungen giebt die gesuchte beobachtete Höhe des Sterns.

Bei der vorhergehenden Beschreibung des Meridiankreises sind noch mehrere kleine Einrichtungen der Kürze und der leichteren Übersicht wegen übergangen worden, die an dem Instrumente angebracht werden, um die Sicherheit und Bequemlichkeit der Beobachtungen zu erhöhen. Hier mögen die beiden folgenden Bemerkungen als ein ergänzender Nachtrag zum Vorhergehenden genügen. Erstens ist die Rotationsachse ihrer Länge nach und auch der Pfeiler in der Richtung dieser Achse durchbohrt, um durch eine an der andern Seite des Pfeilers aufgestellte Lampe das Innere des Fernrohrs zu erhellen und die feinen Fäden im Brennpunkte desselben während der nächtlichen Beobachtungen sichtbar zu machen. Da diese Vorrichtung schon bei der Beschreibung (§ 24) des Mittagsrohrs angezeigt wurde, scheint es unnötig, sie hier zu wiederholen. Zweitens ist es nicht genug, daß ein Instrument irgend einer Art bloß so gut als möglich aus der Hand des Künstlers hervorgeht, es muß auch für längere Zeit in seinem ersten guten Zustande bleiben, ohne sich zu früh abzunutzen und dadurch unbrauchbar zu werden. Vor allem wird es daher nötig sein, dafür zu sorgen, daß die cylindrischen Enden A und B der Rotationsachse bei dem Gebrauche durch das große Gewicht des Instrumentes nicht abgerieben werden und dadurch ihre ursprüngliche Gestalt verändern, wo dann das Fernrohr sich nicht mehr in der Ebene des Meridians bewegen, sondern bald zu der einen, bald zu der andern Seite davon abweichen würde, je nachdem verschiedene Teile der abgenützten Zapfen mit ihren Unterlagen in Berührung kämen. Dieses zu verhüten, sind schon die Achsenenden von Stahl, hingegen die Lager, auf denen sie ruhen, von Glockenmetall, da erfahrungsmäßig die Abnützung so weit geringer ist, als wenn die einander berührenden Stücke aus demselben Material gefertigt werden; vor allem aber dient zu diesem Zwecke auf der Seite B der Achse die metallene Stange r, die an ihrem untern Ende in einen Ring ausläuft, dessen Öffnung bedeutend größer ist, als die Dicke der Achse an diesem Orte. An dem innern Rande dieses Ringes, in dem untern Teile desselben bei p und q, sind 2 kleine kreisförmige Scheiben, sogenannte Friktionsräder angebracht, die sich um ihre Achse bewegen und mit ihrem oberen

Teile etwas über die innere Fläche des Ringes hervorstehen. Der oberste Teil dieser vertikalen Stange r hat eine Öffnung, in welche das eine Ende einer horizontalen Stange u eingreift, während an dem andern Ende derselben ein daselbst verschiebbares, mit Blei gefülltes Gewicht R angebracht ist. Diese Stange wird durch einen Stift u gehalten, der durch die auf dem Pfeiler Q befestigte Säule s getragen wird. Auf diese Weise bilden die beiden Stangen r und u einen Hebel, dessen Unterlage der Stift u, dessen Kraft das Gewicht R und dessen Last die Schwere der ihm zugewandten Hälfte des Instruments ist, und man sieht leicht, daß man das Gewicht R so lange von dem Unterstützungspunkte u entfernen oder demselben nähern kann, bis der von beiden Körpern beschwerte Hebel sehr nahe im Gleichgewichte ist, oder bis das Instrument, statt mit seiner ganzen früheren Last, nur noch mit einem so geringen Teile derselben auf seinem Lager bei B aufliegt, daß es nur eben nicht frei in der Luft schwebt. Dieselbe Vorrichtung sieht man auch an dem andern Ende A der Rotationsachse, sodaß durch eine gehörige Stellung der beiden Gegengewichte R und R' diese Achse auf den 4 Friktionsrollen ihrer beiden Hebel wie auf den Rädern eines Wagens hin und her gedreht werden kann, während das ganze schwere Instrument nur noch mit einem geringen Bruchteile seines eigentlichen Gewichtes auf den cylindrischen Endpunkten dieser Achse ruht. Ein ähnliches Gegengewicht sieht man auch in S, welches die Schwere der auf seiner Seite stehenden Kreise auf dieselbe Art balanziert. Da man, wie wir bald sehen werden, dieses Instrument öfters umkehren muß, sodaß die Kreise bald auf der Seite des Pfeilers P, bald auf jener von Q zu liegen kommen, so trägt jeder Pfeiler zwei Säulen, von welchen die eine für die Balanzierung der Achse und die andere für die der beiden Kreise bestimmt ist.

§ 28. (Bestimmung des Inderfehlers des Meridiankreises.) Da dieses Instrument nicht nur die Rektascensionen, sondern auch die Höhen der Gestirne während ihres Durchganges durch den Meridian anzeigen soll, so werden für die Rektifikation desselben zuerst alle diejenigen Vorschriften gelten, die wir schon oben (§ 25) beim Mittagsrohre angeführt haben und die daher hier keiner neuen Aufzählung bedürfen. Aber auch die beim Meridiankreise noch hinzukommenden Korrektionen wegen nicht völlig konzentrischer Lage von Alhidade und Limbus, wegen der Teilungsfehler u. s. w. gehören bei der heutigen Vollendung solcher Instrumente nur in den Bereich der genauesten Beobachtungen, und eignen sich nicht, hier näher erörtert zn werden. Die Hauptverbesserung dieser Art, nämlich das Erhalten der Alhidade in unverrückter Stellung, ist oben schon erwähnt. Wir können uns deshalb hier darauf beschränken, die Methoden der Bestimmung des Inderfehlers des Kreises auseinanderzusetzen.

Wenn der Nullpunkt des Kreises vom Künstler schon genau in denjenigen Punkt der Peripherie gesetzt wäre, der bei dem zwischen seinen Pfeilern aufgestellten Kreise dem Horizonte entspricht, wenn nämlich derjenige Durchmesser

desselben, der durch die Punkte 0° und 180° geht, in dem Horizonte läge und daher der durch 90° und 270° gehende Durchmesser auf dem Horizonte senkrecht stände, so würde man nur den horizontalen Faden des Fernrohrs auf den durch den Meridian gehenden Stern stellen und die Verniere des Kreises ablesen, um auch sofort die gesuchte Meridianhöhe des Sterns zu erhalten. Allein der Künstler kann dies nicht thun, sondern muß den Nullpunkt der Teilung willkürlich wählen und es dem Beobachter überlassen zu suchen, wieviel er ihn unrichtig genommen hat. Man pflegt dies den Inderfehler des Instruments zu nennen, sodaß also, wenn der eigentliche Horizontalpunkt des Kreises nicht, wie er sollte, auf 0°, sondern z. B. auf 0° 20′ 30″ fallen sollte, der Inderfehler desselben gleich diesem Bogen sein würde, wo man also dann von jeder am Instrumente abgelesenen Höhe diesen konstanten Fehler 0° 20′ 30″ zu subtrahieren hätte, um die wahre Höhe zu erhalten.

Das einfachste Mittel zur Bestimmung des Inderfehlers bieten die schon im § 10 erwähnten künstlichen Horizonte dar, d. h. genau horizontale spiegelnde Flächen, wozu man am besten mit Quecksilber gefüllte Gefäße wählt, in denen die spiegelnde Fläche schon von Natur wagrecht ist.

Beobachtet man nämlich ein Gestirn zur Zeit seiner Kulmination unmittelbar, indem man das Fernrohr auf die gewöhnliche Weise auf dasselbe richtet, und beobachtet man es auch in dem Spiegel eines Quecksilberhorizontes, indem man das Fernrohr auf das Bild des Gestirnes in diesem Spiegel stellt, so durchläuft das Fernrohr auf dem eingeteilten Limbus des Kreises einen Bogen, der gleich der doppelten Höhe des Gestirns über dem Horizonte des Beobachters ist. Die Mitte dieses Bogens ist der gesuchte Horizontalpunkt des Kreises, da nach dem bekannten optischen Gesetze bei ebenen Spiegeln das Bild eines Gegenstandes genau ebenso weit hinter der Spiegelebene (also hier unter dem Horizonte) steht, als der Gegenstand vor derselben (also hier über dem Horizonte). Hätte man z. B. die direkte Höhe eines Sterns gleich 102° und die im Spiegel reflektierte gleich 48° gefunden, so würde die wahre Höhe desselben gleich der halben Differenz dieser Zahlen oder 27° und der Inderfehler gleich der halben Summe derselben oder 75° sein, sodaß man also von jeder an diesem Instrumente direkt beobachteten Höhe den Inderfehler 75° subtrahieren muß, um die wahre Höhe des Gestirns zu erhalten.

Noch einfacher kann man aber den Nadirpunkt finden, wenn man das Bild des im Meridiankreisfernrohre befindlichen Fadennetzes, das von einem unter dem Rohre befindlichen Quecksilberhorizonte reflektiert wird, mit dem direkt gesehenen Fadennetze zur Deckung bringt: die dieser Stellung entsprechende Lesung entspricht offenbar dem Nadirpunkte, der daher auch ohne Zuhilfenahme eines Sternes ermittelt werden kann.

Ohne Hilfe eines solchen Horizontes kann man den Inderfehler des Kreises auch dadurch finden, daß man ein Gestirn zweimal direkt, aber in verkehrten

Lagen des Kreises beobachtet. Gesetzt, man hätte in der ersten Lage des Instruments, wo der Kreis mn z. B. gen Ost oder an der Seite des östlichen Pfeilers P stand, an dem Kreise die Zahl 40° 13′ 10″ gelesen. Man hebe dann das Instrument aus seinen Lagern A und B, stelle es in verkehrte Richtung, sodaß der Kreis mn jetzt auf den westlichen Pfeiler Q kommt, und bringe den Faden des Fernrohres wieder auf denselben Stern, wo dann der Kreis 44° 32′ 20″ zeigen soll. Da das Fernrohr, wie man leicht einsieht, zwischen diesen beiden Beobachtungen um einen Bogen gedreht werden mußte, welcher der doppelten Zenithdistanz des Sternes gleichkommt, giebt das Mittel beider Zahlen: 42° 22′ 45″ die wahre Zenithdistanz des Sternes und ihre halbe Differenz: 2° 9′ 35″ den Indexfehler an. Der Letztere ist zu allen Beobachtungen, wo der Kreis östlich steht, zu addieren, und von allen, wo er westlich steht, zu subtrahieren, um die wahre Zenithdistanz eines Gestirnes zu erhalten.

Da in beiden Beobachtungen der Stern denselben Ort am Himmel einnehmen, also im Meridian sein soll, da aber jeder Stern wegen der täglichen Bewegung des Himmels nur einen Augenblick im Meridian ist, so wird man die Beobachtungen an zwei verschiedenen Tagen zur Zeit der Kulmination des Sterns anstellen müssen. Wenn man aber das Instrument schnell genug umkehren kann, um das Gestirn in beiden Lagen des Kreises noch im Fernrohre zu sehen, was z. B. bei dem sich sehr langsam bewegenden Polarstern statthat, so kann man die beiden Beobachtungen auch an einem einzigen Tage und in wenigen Minuten vollenden. Zwar beobachtet man dann beide Male den Stern nicht in, sondern außer dem Meridian und in unter sich verschiedenen Höhen; aber da namentlich die dem Pole nahen Gestirne in der Nähe des Meridians ihre Höhe nur wenig ändern, so kann man diese Änderung ihrer Höhe zwischen beiden Einstellungen leicht und sicher berechnen und bei der Ableitung des Resultates berücksichtigen.

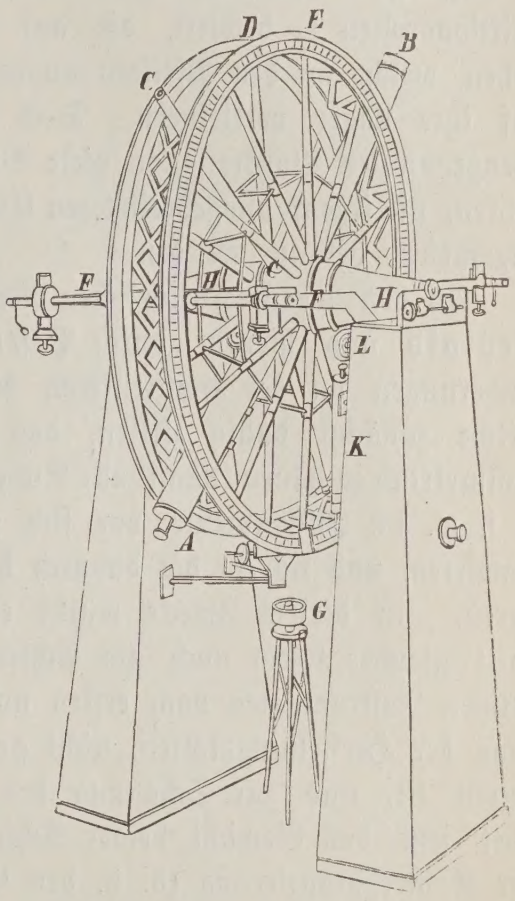
Zieht man es jedoch vor, statt des Zenithpunktes den Polpunkt des Kreises zu bestimmen, d. h. denjenigen Punkt, welcher dem Pole des Äquators am Himmel entspricht, um die Beobachtungen der Sterne auf diesen Instrumentalpol beziehen und so ihre Poldistanzen (Einl., § 9) unmittelbar erhalten zu können, so findet man diesen Polpunkt am einfachsten durch die Beobachtung von Cirkumpolarsternen in ihren beiden Kulminationen. Nennt man nämlich h und h′ die Zahlen, bei welchen das Fernrohr zur Zeit der oberen und der unteren Kulmination stand, so ist die Zahl des Kreises, die dem Polpunkte entspricht, oder der Polpunkt des Instruments gleich der halben Summe dieser beiden Zahlen, d. h. $\frac{1}{2}(h + h')$, wo bei den Größen h und h′ auf die Verbesserung derselben wegen Refraktion Rücksicht genommen werden muß.

Übrigens ist mit dem Horizontalpunkte, den wir oben bestimmen lehrten, auch bereits der Polpunkt des Kreises gegeben, da diese beiden Punkte nur um die betreffende Polhöhe von einander abstehen.

§ 29. (Historische Notizen über Meridiankreise.) Obschon die von Römer vorgeschlagenen ganzen Kreise unbezweifelte und auch gleich anfangs allgemein anerkannte Vorzüge vor den Quadranten besitzen, blieben der Mauerquadrant und der ähnliche, nur einen kleineren Teil der Peripherie fassende Zenithsektor bis nahe zu dem Anfange des gegenwärtigen Jahrhunderts doch die vorzüglichsten Instrumente zur Beobachtung der Zenithdistanzen der Gestirne, da die Künstler, wie bereits hervorgehoben wurde, Vollkreise lange Zeit nicht mit derjenigen Genauigkeit verfertigen konnten, welche die Beobachter beanspruchten.

Die ersten gelungenen größeren Vollkreise wurden von Ramsden zustande gebracht, aber zunächst auf Instrumente angewendet, die man nicht bloß im Meridiane, sondern in jedem Vertikal brauchen und mit denen man nicht nur Höhen, sondern auch Azimute messen konnte. Wir werden auf diese Instrumente weiter unten (§ 30) zurückkommen; hier genüge die Bemerkung, daß dieselben des Vorsprunges wegen, den sie in der Ausstattung mit Vollkreisen gewonnen hatten, eine Weile die eigentlichen, fixen Meridian-Instrumente verdrängten und für ihre Zeit auch außerordentlich wichtige Dienste leisteten. So führte beispielsweise Piazzi die Beobachtungen zu seiner berühmten Storia celeste an einem Ramsdenschen Vollkreise aus.

Fig. 128.



Im Jahre 1812 vollendete Troughton den ersten sogenannten Mauerkreis (mural circle), der auf der Sternwarte in Greenwich aufgestellt wurde, später vielfache Nachahmung in England und Frankreich erfuhr und in der Geschichte der beobachtenden Astronomie Epoche machte. Dieser im Meridian aufgestellte Kreis ist noch nach Art des Mauerquadranten mit der Rückseite an einem soliden Pfeiler von Mauerwerk befestigt, der auch die Verniere oder Mikroskope trägt, durch welche die Ablesungen an den Kreisen geschehen. Ein solcher Kreis gewährt wohl eine ungemein solide Aufstellung, kann aber nicht umgewendet werden, während die Meridiankreise sich leicht umwenden lassen, was für viele Korrektionen dieser Instrumente ein wesentlicher Vorteil ist, den man an den englischen Mauerkreisen durch künstliche Horizonte und Kollimatoren zu ersetzen suchte. Die einseitige Befestigung an der Mauer scheint überdies schädliche Spannungen u. dergl. zu bewirken. Später nahm man in England den Meridian-

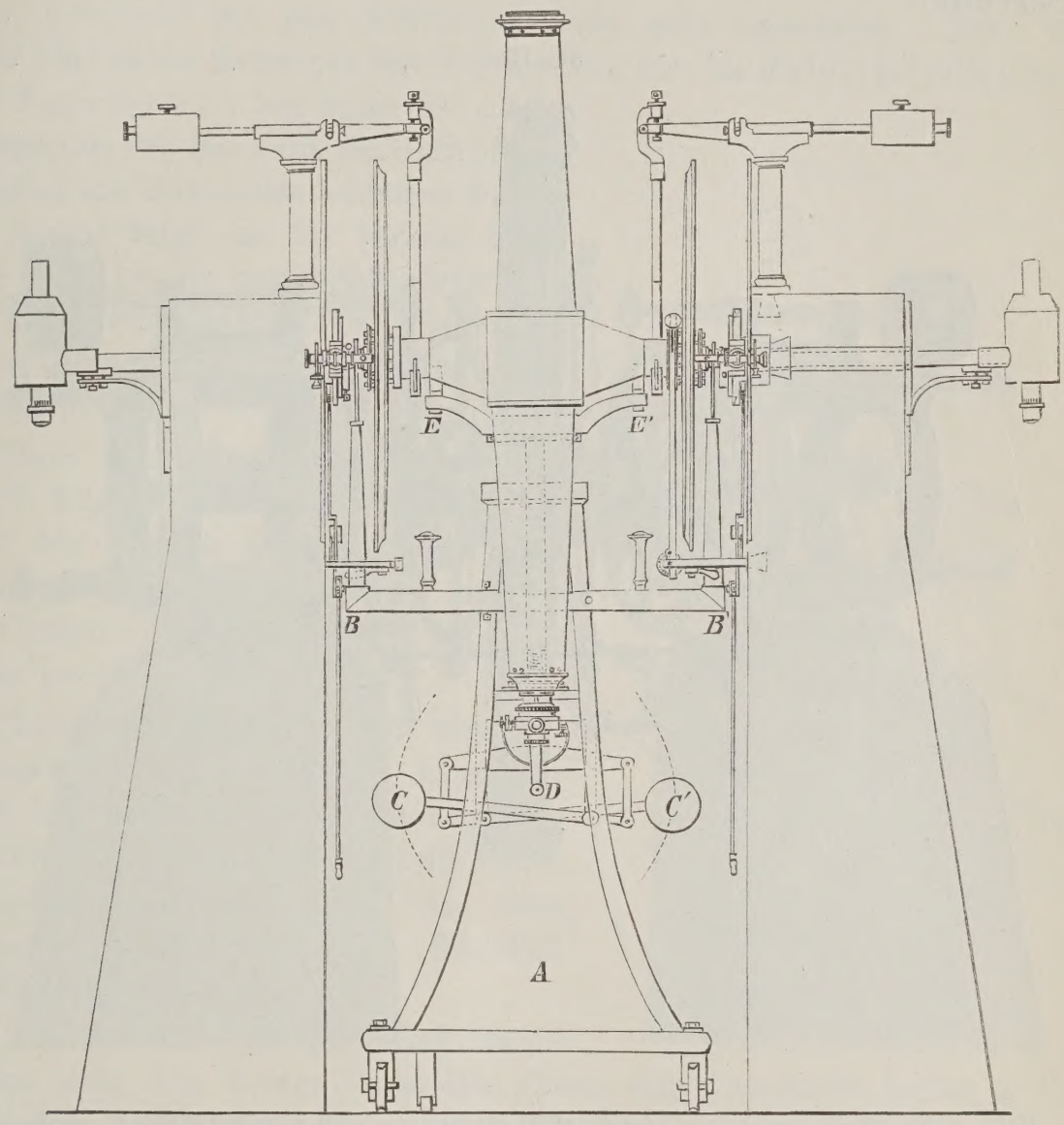
kreis an, gab demselben jedoch eine veränderte Gestalt, die man in Fig. 128 abgebildet sieht. Das Fernrohr AB ist hier zwischen zwei parallelen, untereinander verbundenen Kreisen D und E befestigt. Diese Kreise, deren jeder seine Einteilung trägt, drehen sich zugleich mit dem Fernrohre um die horizontale Achse HH; die Größe der Drehung wird durch die 4 Mikroskope F, F abgelesen, die an den beiden Mauerpfeilern befestigt sind, auf welchen das ganze Instrument steht. Senkrecht auf das Fernrohr ist eine Röhre CC in der Mitte der Achse HH befestigt, in welcher, bei der horizontalen Stellung des Fernrohrs, das Bleilot hängt, dessen unteres Gewicht in dem Gefäß G in Wasser geht, um die Oscillationen desselben durch Luftzug u. dergl. zu verringern. Ferner wird die Verminderung der Reibung hier durch Friktionsrollen L bewirkt, die auf federnden Unterlagen in festen Gehäusen K stehen, welche an den Pfeilern angebracht sind, und so den Druck der Achse HH auf ihre Lager verkleinern. Doch fanden auch diese Instrumente, sowie die obengenannten Vollkreise, so viele Verbesserungen sie auch im Laufe der Zeit erfuhren, nie irgend ausgebreiteteren Eingang, seitdem die Reichenbach'schen Kreise allgemeiner bekannt wurden.

An den Reichenbach'schen Meridiankreisen wurden ebenfalls zunächst durch Repsold und hierauf durch Pistor und Martins, aber ohne durchgreifende Änderungen an der Konstruktion derselben, vielfache Verbesserungen eingeführt, welche zunächst dahin zielten, das Instrument in allen seinen Teilen möglichst symmetrisch zu bauen, damit alle Änderungen, welche durch Temperaturschwankungen u. s. w. im Instrumente vor sich gehen, möglichst gleichförmig auf alle Teile einwirken, und sich so die dadurch hervorgebrachten Störungen möglichst kompensieren. Zu diesem Zwecke wurde ein dem Kreise am Achsenende A (Fig. 127) ganz gleicher Kreis auch am Achsenende B angebracht, der sich bei vielen derartigen Instrumenten vom ersten nur dadurch unterscheidet, daß er zur Verringerung der Herstellungskosten, nicht genau, sondern nur verhältnismäßig roh geteilt ist, und zur Schonung des ersteren als Einstellkreis benützt wird. Da aber jetzt das Gewicht beider Achsenenden vollkommen gleich ist, kann auch in der Kontrebalanzierung (d. h. den Gegengewichten R, S, R', Fig. 127) eine bedeutende Vereinfachung eintreten, indem nun auf jeder Seite nur je ein Gewicht benötigt wird, das noch dazu auf beiden Seiten gleich schwer ist, was das Umlegen des Instrumentes insofern wesentlich erleichtert, als das Umwechseln der bei größeren Instrumenten recht schweren Gegengewichte nicht mehr nötig ist. Diese und andere minder wesentliche Umänderungen wird man am einfachsten an dem nebenstehenden Holzschnitte (Fig. 129) erkennen, der den Meridiankreis darstellt, welchen Pistor und Martins für die Sternwarte St. Jago de Chile ausführten. Wir bemerken dazu nur, daß der Wagen A die Umlegungsvorrichtung vorstellt, und daß die Gewichte C, C' ebenfalls eine Art Kontrebalanze bilden, um das Gewicht des Instrumentes zu paralysieren, sobald es, mittels der Kurbel D aus seinen Lagern gehoben, frei auf der Gabel EE' ruht, und dadurch ein weiteres

Heben oder Senken dieser Gabel zu erleichtern. Daß die Libelle BB' ausgehängt werden muß, ehe eine Umlegung vorgenommen, d. h. ehe der Wagen A unter das Instrument geschoben wird, versteht sich von selbst.

In unseren Tagen hat man übrigens eine weitere, tiefer eingreifende Um-

Fig. 129.

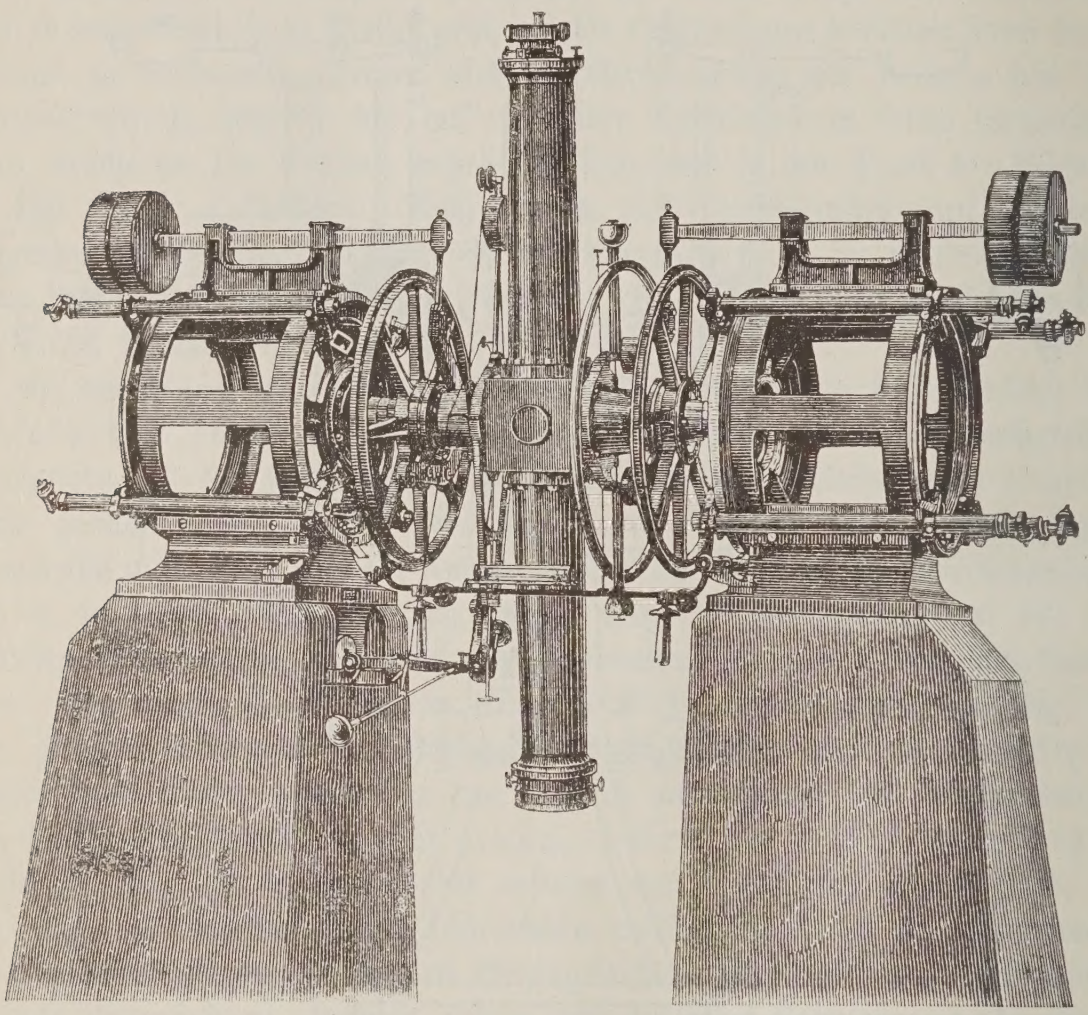


änderung an den Meridiankreisen vorgenommen, wie dies aus Fig. 130 ersichtlich ist, welche den von Repsold für die Straßburger Sternwarte ausgeführten Meridiankreis wiedergiebt. Die Idee, die hierbei zu Grunde liegt, ist die folgende.

Bei den älteren Meridiankreisen wird ein Teil der Kreise von den nicht unbedeutenden Steinmassen der Seitenpfeiler gedeckt, ist daher ganz anderen Strahlungsverhältnissen ausgesetzt, als der übrige Teil, wodurch natürlich Tempe-

raturdifferenzen und Spannungen in den Kreisen hervorgebracht werden. Um diesen Übelstand zu beseitigen, läßt man die Achse nun nicht mehr auf den Steinpfeilern selbst, sondern auf starken Eisenbügeln ruhen, an denen sich, konzentrisch zu den Kreisen, die Mikroskopträgerkreise befinden, sodaß die Kreise nirgends massiven Steinmassen, sondern bloß schlanken Metallmassen gegenüberstehen, die sich beiläufig ebenso schnell wie sie selbst Temperaturveränderungen akkomodieren.

Fig. 130.

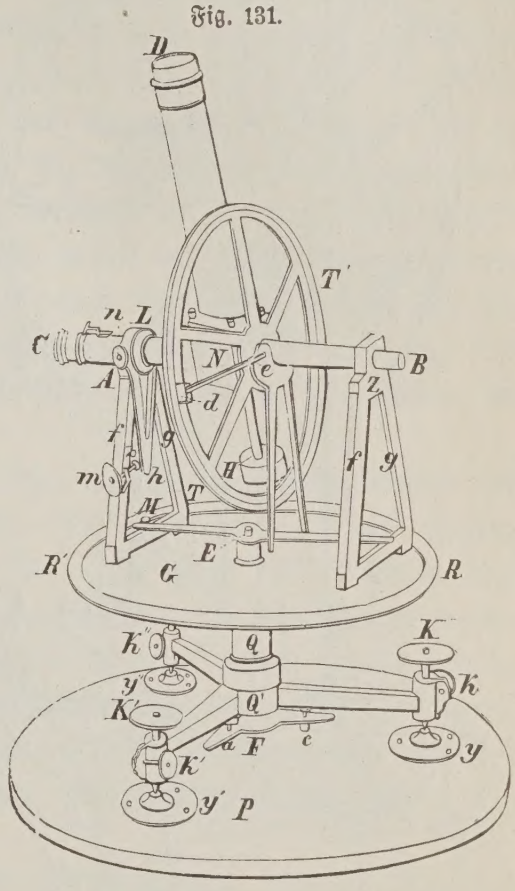


Die erste Anregung zu dieser Umgestaltung rührt von Winlock her, der einen Meridiankreis ähnlicher Konstruktion am Ende der sechziger Jahre von Troughton und Simms für die Sternwarte des Harvard College zu Cambridge (U. S.) ausführen ließ, nach dessen Muster kurz nachher Meridiankreise für die Sternwarten von Cambridge (Engl.) und Pola verfertigt wurden. Bei diesen Meridiankreisen (ebenso wie auch, wenn wir nicht irren, beim Straßburger) ist außerdem jeder der beiden Kreise samt seinem Mikroskopträger von einem Glaskasten umschlossen, aus welchem nur die Okularenden der Ablesemikroskope hervorstehen, um von den Kreisen jeden Luftzug und partielle Erwärmungen

durch den ihn ablesenden Beobachter, — alles Dinge, die wieder Spannungen u. s. w. hervorrufen, — thunlichst abzuhalten.

§ 30. (Universalinstrument.) Wie aus dem Vorhergehenden ersichtlich ist, und wie es auch bereits ihr Name besagt, sind die Meridiankreise nur zu Beobachtungen in der Ebene des Meridianes bestimmt. Man kommt aber begreiflicher Weise häufig in die Lage, auch außerhalb des Meridianes beobachten zu sollen, und dann sind jene Instrumente nicht mehr anwendbar. Diese Lücke füllen zwei andere Gattungen von Instrumenten aus: die Universalinstrumente und Äquatoriale, von denen die ersteren vorzugsweise von Geodäten, die letzteren ausschließlich von Astronomen verwendet werden. Wir wollen daher nur die letzteren weiter unter (§ 33 bis 37) ausführlicher behandeln, und die ersteren hier nur insoweit besprechen, als es zum Verständnisse derselben notwendig ist.

Fig. 131.



Unter dem Namen „Universalinstrument" begreift man Instrumente, welche einen fein geteilten Horizontal- und einen ebenso geteilten Höhenkreis besitzen, und dadurch gestatten, Azimut und Höhe eines Gestirnes gleichzeitig zu beobachten.

Das Prinzip, nach welchem diese Instrumente konstruiert sind, die allgemeine Form derselben und die Anordnung ihrer einzelnen Teile dürften aus der beistehenden schematischen Darstellung (Fig. 131) eines Universale mit gebrochenem Fernrohre (§ 24) leicht erkenntlich sein.

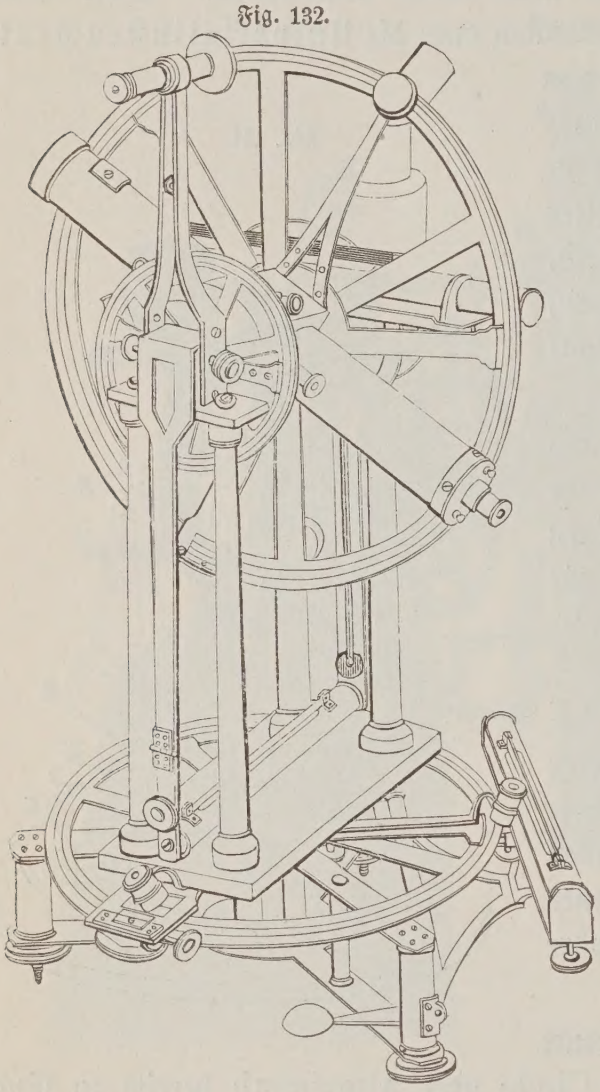
Die ersten derartigen Instrumente wurden unter dem Namen Reversible Circle oder Altazimuth bereits zu Ende des vorigen Jahrhunderts von englischen Künstlern in solcher Vollkommenheit hergestellt, daß man sich derselben an vielen Sternwarten statt der Mauerquadranten bediente: sie stehen übrigens für gewisse Gattungen von Beobachtungen in England auch heute noch in Verwendung. In Fig. 132 sieht man einen solchen englischen Höhen- und Azimutkreis kleinerer Dimension von Troughton und Simms, der nach dem Vorhergehenden keiner besonderen Erklärung bedarf.

In Deutschland baute die ersten dieser Instrumente Reichenbach und gab ihnen den etwas zu umfassenden Namen Universalinstrumente, der häufig in Universale abgekürzt wird, da man mit solchen Instrumenten wohl sehr

viel, aber doch nichts weniger als sämtliche dem Astronomen nötigen Beobachtungen leisten kann.

Zur allgemeinen Beschreibung des Universalinstrumentes übergehend, erwähnen wir zunächst, daß die Arme des dreiarmigen Fußgestelles (Fig. 131) an ihren Enden, wo sie die starken Fußschrauben K, K', K'', aufnehmen, gespalten sind, so daß sie durch eigene Seitenschrauben k, k', k'', einander genähert werden können, um die Fußschrauben zusammenzupressen, und so in der richtigen Stellung möglichst sicher und unverändert zu erhalten. Diese Fußschrauben laufen an ihren unteren Enden in konische Stahlspitzen aus, die in ähnlichen konischen Vertiefungen starker Metallscheiben y, y', y'' sich bewegen, deren jede an ihrer unteren Seite mit 3 kurzen konischen Stahlspitzen versehen ist, womit sie fest und unverrückbar auf dem Beobachtungstische P aufliegen.

Fig. 132.



An der unteren Seite der 3 Arme des Fußgestelles ist eine ebenfalls dreiarmige Stahlspange aFc angeschraubt, von welcher man in der Zeichnung aber nur die 2 Teile a und c mit ihren Schrauben sehen kann. Auf der Mitte F dieser Spange steht die eigentliche, vertikale Drehungsachse des Universale, die sich in dem hohlen Cylinder QQ' frei bewegt, und an deren oberem Ende der Horizontalkreis RR' senkrecht auf jene Achse befestigt ist. Dieser Horizontalkreis besteht aus einer doppelten Scheibe G, deren oberer Teil die (in der Zeichnung, um sie nicht allzusehr zu überladen, ausgelassenen) Verniere oder Ablesemikroskope und das Gerüste fgN trägt, und mit der Achse EF fest verbunden ist, sodaß sie sich mit derselben dreht. Der untere Teil dieser Doppelscheibe springt mit dem geteilten Limbus RR' über den oberen vor und ist mit dem Fußgestelle QK unveränderlich verbunden. Eine Druckschraube M setzt in den Stand, die innere Scheibe an die äußere festzuklemmen, wo dann die Verniere oder Ablesemikroskope am Limbus innerhalb eines kleinen Spielraumes mittels einer feinen Schraube bei M noch verrückt werden können. Die früher erwähnte Stahlspange aFc ist eigentlich der Träger der Achse EF

und damit des ganzen Instrumentes, und dient dazu, um den unteren Teil der Doppelscheibe G bei der Drehung des Instrumentes vom Gewichte desselben zu entlasten. Diese Spange hat daher im Grunde denselben Zweck, wie die Gegengewichte beim Meridiankreise.

Auf der inneren Scheibe befinden sich die vertikalen Säulen fg, die an ihrem oberen Ende die horizontale Drehungsachse des Instrumentes tragen, dessen Vertikalkreis TT′ und Fernrohr CND senkrecht auf derselben befestigt sind. Der Vertikalkreis ist ein einfacher Kreis mit seiner an der Scheibe G befestigten Alhidade de; das Fernrohr CND in seiner Mitte unter einem rechten Winkel gebrochen, wo ein im Innern des Rohres bei N angebrachter kleiner Spiegel, oder besser noch ein Glasprisma die von dem Objektive D nach der Richtung DN einfallenden Strahlen in die darauf senkrechte NC nach dem Okulare C reflektiert. Bei dieser Einrichtung des Fernrohres sieht das Auge des Beobachters bei C immer das Gestirn in der horizontalen, also zur Beobachtung sehr bequemen Lage CN, es mag hoch oder niedrig stehen, vorausgesetzt, daß die eine Hälfte NC der Drehungsachse durchbohrt oder hohl ist, damit der Lichtkegel ungehindert durch dieselbe hindurchgehen kann. Übrigens ist auch die andere Hälfte NB der Drehungsachse durchbohrt, um bei Nachtbeobachtungen durch diese Öffnung das Licht einer Lampe zum Okularende leiten zu können, und so die Fäden im Brennpunkte des Rohres sichtbar zu machen.

Damit das Fernrohr in jeder beliebigen Lage im Gleichgewichte bleibt und nicht durch das Übergewicht der Objektivhälfte ND herabsinkt, ist das Gegengewicht H an der Stange NH angebracht. Der Höhenkreis TT′ endlich läßt sich durch Anziehen der Druckschraube n, die unmittelbar auf die Drehungsachse AB wirkt, in jeder Lage feststellen. Um ihm aber dann samt seinem Fernrohre doch noch eine kleine Bewegung geben und damit den Faden des Fernrohres genau auf den Stern bringen zu können, ist die Vorrichtung hL mit ihrer Mikrometerschraube mh angebracht, die ganz der am Meridiankreise (Fig. 127) bei c′ d′ und fh beschriebenen gleicht.

Auch am Universalinstrumente haben seit Reichenbach deutsche Künstler, namentlich Ertel, Repsold, Pistor und Martins, Breithaupt u. a. wesentliche Verbesserungen und Umänderungen eingeführt, welche hauptsächlich ein bequemeres Handhaben und leichteres Rektificieren desselben bezwecken, wodurch indes sein Bau nach und nach recht kompliziert, und es selbst ziemlich schwerfällig wurde. Da indes das Universale weder von Astronomen noch auch von Freunden der Astronomie allgemeiner gebraucht wird, wollen wir uns enthalten, eine detaillierte Abbildung eines neueren derartigen Instrumentes beizufügen.

§ 31. (Rektifikation des Universalinstrumentes.) Vor allem wird vorausgesetzt, daß von den beiden Achsen AB und EF die eine horizontal, die andere vertikal sei. Sehen wir nun zu, durch welche Mittel wir diesen Forderungen Genüge leisten können.

Um zuerst die vertikale Drehungsachse FE (Fig. 131) senkrecht auf den Horizont zu stellen, bedient man sich einer Libelle, die mit ihren zwei Füßen auf die cylindrischen Enden der Achse AB aufgestellt wird, so daß deren Glasröhre zwischen die Speichen des Kreises TT' zu stehen kommt. Dann stellt man die Achse AB parallel zu zwei Fußschrauben KK' und verbessert bei der jedesmaligen Umdrehung des Kreises G um 180°, die eine dieser beiden Fußschrauben so lange, bis die Mitte der Blase in beiden Lagen des Instruments denselben Punkt zeigt. Ist z. B. 12 der Teilstrich, bei welchem die Mitte der Blase in der ersten Lage steht und 20 derselbe für die zweite Lage des Instruments, so wird in der zweiten Lage die eine Fußschraube so bewegt, daß die Mitte der Blase zu dem Teilstrich 16 oder zu dem Mittel jener beiden kommt. Ist dies geschehen, so wird die Achse AB in eine auf die vorigen Stellungen senkrechte Lage gebracht und bloß durch die dritte Fußschraube die Mitte der Blase wieder auf den Teilstrich 16 zurückgeführt. Zeigt dann die Libelle bei allen Richtungen der Achse immer denselben Punkt, so ist die Achse FE vollkommen vertikal oder der von dem Künstler auf der Drehbank auf diese Achse senkrecht abgedrehte Kreis RR' vollkommen horizontal und die erste der oben erwähnten Bedingungen erfüllt.

Allein nun ist es noch möglich, daß die beiden Stützen fg, welche die horizontale Drehungsachse AB tragen, von ungleicher Länge sind, wo dann diese nicht mehr horizontal, also auch der auf ihr von dem Künstler senkrecht abgedrehte Kreis TT' nicht mehr vertikal sein würde, und darin besteht doch die zweite Bedingung, die statthaben muß, wenn das Instrument zu Beobachtungen tauglich sein soll. Um nun auch dieser Forderung zu genügen, wird man die Libelle, ohne übrigens jetzt den Kreis G weiter zu bewegen, zuerst in einer und dann in der entgegengesetzten Lage auf die Endpunkte der Achse AB stellen, so daß derselbe Fuß der Libelle zuerst nach A und dann nach B kommt. Steht die Blase in beiden Lagen bei verschiedenen Teilstrichen, so wird man durch eigens dazu bestimmte Schrauben, die an einen der Stützen fg bei Z angebracht sind, diese Stütze etwas verlängern oder verkürzen und so die Blase der Libelle in die Mitte zwischen die beiden abgelesenen Teilstriche bringen, und dieses Verfahren nun so lange wiederholen, bis die Libelle in beiden Lagen denselben Teilstrich zeigt, demnach die Drehungsachse AB horizontal oder dem Kreise RR' parallel und zugleich der Kreis TT' gegen den Horizont senkrecht steht.

Endlich ist auch noch die optische Achse des Fernrohres dem Kreise TT' parallel, oder eigentlich der vertikale Haupftfaden in eine zur Ebene der Kreise parallele optische Achse zu stellen. Um dies zu erreichen, läßt man den Faden zuerst durch eine sanfte Bewegung des Fernrohres längs einem scharf begrenzten entfernten terrestrischen Gegenstande hinlaufen und dreht ihn mittels der dazu bestimmten Schraube so lange um seinen Mittelpunkt, bis er seiner ganzen Länge nach scharf auf dem Objekte bleibt. Hierauf hebt man die Achse AB samt

Fernrohr und Höhenkreis aus ihren Lagern bei A und B heraus, und bringt sie in verkehrter Stellung, so daß jetzt das Achsenende A auf das Lager B kommt, wieder in diese Lager zurück. Wird jetzt das Fernrohr abermals auf das terrestrische Objekt zurückgeführt, und weicht der Faden von demselben ab, so verbessert man die Hälfte des Fehlers durch eine Schraube bei A, welche das Fadennetz in horizontaler Richtung bewegt.

Es erübrigt uns jetzt nur noch, den Inderfehler der Kreise zu bestimmen.

Den Inderfehler des Höhenkreises findet man wie beim Meridiankreise (§ 28) dadurch, daß man den Horizontalfaden auf ein terrestrisches Objekt einstellt, dann das ganze Instrument um 180° dreht, und nun das terrestrische Objekt abermals pointiert. Die halbe Differenz beider Lesungen giebt, je nachdem die Teilung des Kreises läuft, entweder die Zenithdistanz oder Höhe des Gegenstandes, die halbe Summe derselben aber den Inderfehler des Kreises.

Eine Orientierung des Horizontalkreises ist überhaupt nicht notwendig, wenn man damit bloß Horizontalwinkel messen will, weil diese aus der Differenz zweier Kreislesungen sich ergeben, und dafür die Lage des Nullpunktes gleichgültig ist. Will man jedoch, was bei geographischen Ortsbestimmungen wichtig ist, das Azimut irgend einer bestimmten Richtungslinie ermitteln, dann muß man auch den Inderfehler des Kreises, d. h. die Lage seines Nullpunktes gegen den Meridian kennen. Diesen findet man am einfachsten dadurch, daß man womöglich den Polarstern, der sich wegen seiner langsamen Bewegung hierfür besonders eignet, auf den Vertikalfaden stellt, und die zugehörige Zeit notiert. Aus der bekannten Beobachtungszeit kann man aber das Azimut des Sternes berechnen, vorausgesetzt, daß seine Position und die Polhöhe des Beobachtungsortes bekannt sind; die Vergleichung dieses Azimutes mit der Angabe des Kreises ergiebt nun sofort dessen Inderfehler.

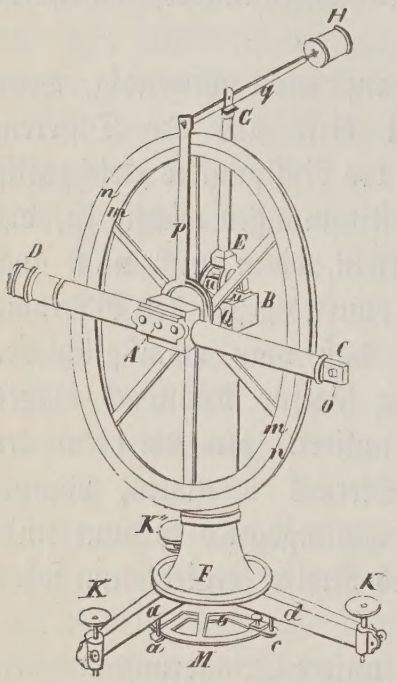
§ 32. (Theodolit. Höhenkreis.) Wie man auch ohne unsere Erinnerung aus dem Vorhergehenden ersieht, ist das Universale, ebenso wie der Meridiankreis, eigentlich eine Vereinigung zweier Instrumente: eines um Horizontalwinkel, und eines um Höhen (oder Zenithdistanzen) zu messen. Es kann nun der Fall eintreten, daß das Instrument ausschließlich zu geodätischen Zwecken, d. h. Winkelmessungen im Horizonte, verwendet werden soll. Dann kann man den fein geteilten Höhenkreis durch einen bloßen Einstellkreis ersetzen, und die Konstruktion jenes Teiles, der nur auf die Höhenmessungen Bezug hat, wesentlich vereinfachen, wodurch das Instrument im Ganzen weniger kompliziert und auch minder kostspielig wird. Ein solches vorzüglich zum Messen von Horizontalwinkeln eingerichtetes Instrument nennt man gewöhnlich Theodolit.

Andererseits kann es auch, namentlich bei astronomischen Untersuchungen vorkommen, daß man mit einem Instrumente bloß Höhenbeobachtungen ausführen will. In diesem Falle ist umgekehrt ein fein geteilter Azimutalkreis un-

nötig: man kann daher diesen mit allen dazu gehörigen Verfeinerungen auslassen und erhält dann einen sogenannten Höhenkreis, wie einen solchen die nebenstehende Figur 133 zeigt.

Über die Rektifikation von Theodolit und Höhenkreis haben wir nichts weiter zu bemerken, da alles darauf Bezügliche bereits beim Universale beigebracht wurde, und wir daher hier nur auf § 31 zurückzuweisen brauchen. Bloß in betreff des Höhenkreises möchten wir beifügen, daß die Beobachtung sehr hoch oder nahe am Zenithe stehender Sterne bei dem obigen Baue des Instrumentes sehr beschwerlich, wenn nicht unmöglich wäre, weil dann das Fernrohr in die Vertikal-Lage FQ käme. Es ist deshalb im Grunde die oben (§ 24) erwähnte Einrichtung eines gebrochenen Fernrohres aber erst am Okulare getroffen, nämlich im Innern desselben bei C ein kleiner Planspiegel angebracht, dessen Ebene mit der optischen Achse CD des Fernrohres einen Winkel von 45° macht, wo dann die Okularröhre O senkrecht auf diese Achse CD gestellt werden muß, damit die vom Gestirne in der Richtung CD kommenden Strahlen ins Auge des Beobachters gelangen. Das Okular nimmt dadurch eine zur Beobachtung sehr bequeme Lage an. Damit ferner Kreis und Fernrohr nicht einseitig auf die Achse AB drücken, sowie um die Reibung derselben in ihrer Hülse zu vermindern, ist ein mit Blei gefülltes Gegengewicht bei B auf der anderen Seite der Achse, und ein zweites bei H angebracht, welches durch den Hebel pq, dessen Unterstützungspunkt die Säule EG ist, das vom Kreise abwärts gedrückte Ende Q der Achse beinahe ebenso viel aufwärts hebt. Endlich hat das Fernrohr gegen seine Mitte bei A eine mit einem Schieber versehene Öffnung, durch welche man das Licht einer Lampe in das Innere des Rohres fallen und dort durch einen kleinen Spiegel gegen das Okular hin reflektieren läßt, um die Fäden im Brennpunkte zur Nachtzeit zu sehen.

Fig. 133.



Schließlich sei noch erwähnt, daß der Theolodit aus England zu stammen scheint, indem ihm ähnliche Instrumente bereits im 16. Jahrhundert in dortigen geometrischen Werken beschrieben werden. Der Name selbst hat übrigens die verschiedensten Erklärungen veranlaßt. So entstand er nach M. A. de Morgan aus einer Korruption des arabischen Wortes al-'idâda, das ein auf der Teilung eines Kreises bewegliches Diopter oder Absehen bedeutet, und zunächst in Alydeday, dann Athelida umgeformt wurde, und hierauf durch Versetzung der Buchstaben in athelidated circle und endlich in theodelidet circle überging. Einer solchen etymologischen Equilibristik gegenüber wird man wohl eher geneigt sein, mit

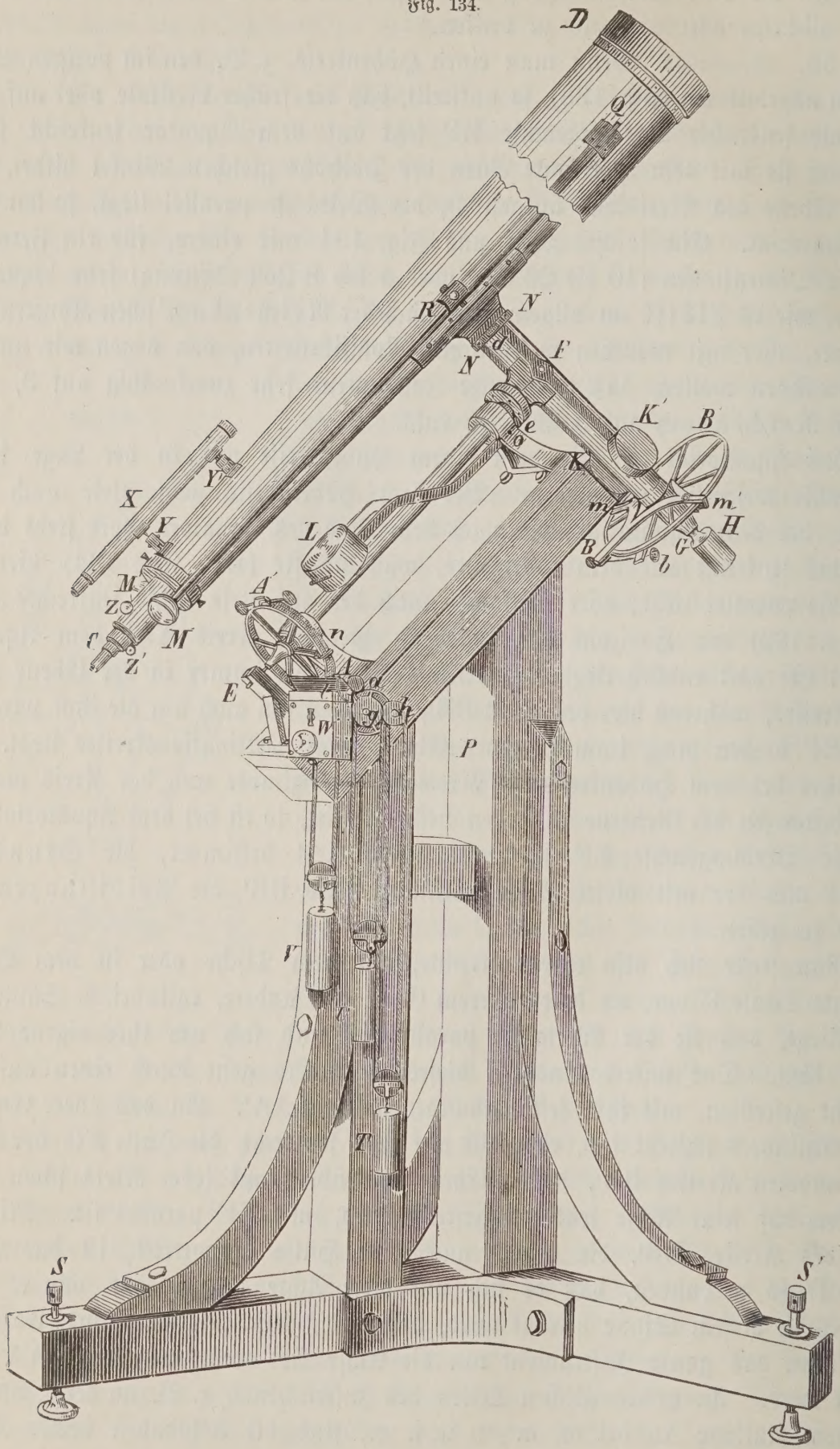
Weigand an eine Verschmelzung des englischen Artikels the mit dem obigen Worte alidada oder alidade zu denken.

§ 33. (Äquatorial.) Wenn man einen Höhenkreis, z. B. den im vorigen Paragraphen abgebildeten (Fig. 133), so aufstellt, daß die früher vertikale oder auf dem Horizonte senkrechte Drehungsachse EF jetzt auf dem Äquator senkrecht steht, d. h. daß sie mit dem Horizonte einen der Polhöhe gleichen Winkel bildet, und in der Ebene des Meridians aufgestellt, der Weltachse parallel liegt, so hat man ein Äquatorial. Ein solches zeigt uns Fig. 134 mit einem, für ein Fernrohr mäßiger Dimensionen (10 bis 20 cm, oder 4 bis 8 Zoll Öffnung) sehr bequemen Stative, wie es Plössl im allgemeinen nach der Reichenbach'schen Konstruktion ausführte, aber mit manchen wesentlichen Modifikationen, von denen wir nur die eine erwähnen wollen, daß das ganze Instrument sehr zweckmäßig auf 3, statt wie bei Reichenbach auf 5 Punkten ruht.

Das Äquatorial ist also von einem Höhenkreise nur in der Lage seiner Hauptachse wesentlich verschieden. Bei dem Höhenkreise geht diese nach dem Zenithe, bei dem Äquatorial aber nach dem Pole des Äquators, dort steht daher die Achse senkrecht auf dem Horizonte, während sie (EF, Fig. 134) hier der Weltachse parallel liegt; dort stellt also auch der auf diese Achse senkrechte Kreis M (Fig. 133) den Horizont vor, während hier der Kreis AA' dem Äquator parallel ist; dort endlich liegt der vertikale Kreis mn immer in der Ebene eines Höhenkreises, während hier der Kreis BB', wie man ihn auch um die ihm parallele Achse EF drehen mag, immer in der Ebene eines Deklinationskreises liegt. So wie daher bei dem Höhenkreise der Kreis M die Azimute und der Kreis mn die Zenithdistanzen der Gestirne zu geben bestimmt ist, so ist bei dem Äquatorial der auf die Drehungsachse EF senkrechte Kreis AA' bestimmt, die Stundenwinkel und der mit dieser Achse parallele Kreis BB' die Poldistanzen der Sterne zu geben.

Man stelle sich also eine senkrechte, auf dem Tische oder in dem Boden befestigte Säule P vor, an deren oberem Ende eine andere, cylindrische Säule EF so aufliegt, daß sie der Weltachse parallel ist und sich um ihre eigene Achse drehen läßt. Das untere Ende E dieses Cylinders geht durch einen auf ihn senkrecht gestellten, mit ihm fest verbundenen Kreis AA'. An das obere Ende F dieses Cylinders schließt sich, ebenfalls auf ihm senkrecht, die Hülse FG der Achse eines anderen Kreises BB', dessen Ebene, da überhaupt jeder Kreis schon vom Künstler auf seine Achse senkrecht gestellt wird, mit EF parallel ist. Mit der Achse des Kreises BB', die bei G aus ihrer Hülse hervortritt, ist das Fernrohr CD so verbunden, daß es sich um diese Achse drehen läßt, daß es also, wenn es in diesem Sinne bewegt wird, den Kreis BB' mit sich führt, während, wenn man das ganze Instrument um die Achse EF dreht, der Kreis AA' mit bewegt wird. An unbeweglichen Teilen des Instruments, z. B. an der Hülse FG oder dem Aufsatze An bei m, m', n u. s. w., sind die Alhidaden beider Kreise

Fig. 134.



mit Vernieren angebracht, an denen also die Drehung der Kreise sich messen läßt. Die Alhidade mm' hat einen dritten Arm mit einer Klemmschraube bei B, durch welche der Kreis mit der Alhidade verbunden, also festgestellt werden kann; die Mikrometerschraube b setzt dann (§ 27) in den Stand, den Kreis BB' und mit ihm das Fernrohr innerhalb eines kleinen Spielraumes zu bewegen. Am Kreise AA', für den gegenüber von n ebenfalls ein zweiter, hier nicht ersichtlicher Vernier sich befindet, ist in den Rand ein halber Schraubengang eingeschnitten, in den eine sogenannte Schraube ohne Ende, deren Kopf in der Zeichnung sich bei a zeigt, eingreift, wenn eine Feder, die auf diese Schraube drückt, freigelassen wird; durch das Eingreifen dieser am Gestelle festen Schraube ist also der Kreis AA' festgestellt und kann nur mittels dieser Schraube gedreht werden, aber nicht wie BB' bloß um kleine Bogen, sondern um die ganze Peripherie. Will man eine Bewegung um die Achse EF rasch vornehmen, so zieht man die Feder der Schraube a zurück und bringt diese so außer Verbindung mit dem Kreise AA', der sich dann frei bewegen läßt. Die Gegengewichte H, K, K', L dienen dazu, den Druck auf die Achsen und ihre Hülsen möglichst zu verringern und gleichförmig zu verteilen; so sind z. B. die Gewichte K und K' an den Endpunkten von Hebelstangen angebracht, deren Stützpunkt bei F zu sehen, und an deren anderem Ende ein Kranz NN' sich befindet, der an mehreren Stellen Friktionsrollen d trägt, durch welche die in der Hülse FG befindliche Achse gehoben und dadurch ihre Reibung in der Hülse vermindert wird. In gleicher Weise hebt das Gewicht L mittelst des gekrümmten Hebels LOe um den Stützpunkt O durch Friktionsrollen e die Achse EF aus ihren Lagern. Um die Biegung der Objektivhälfte des Fernrohrs CD zu verhindern, laufen Hebelstangen MQ längs desselben hin, die durch Gewichte M, M' um die Stützpunkte R den oberen Teil des Fernrohrs hinaufdrücken.

Ein sogenannter Sucher X, wie er an größeren Fernrohren immer angebracht ist, um mit freiem Auge auf irgend einen Gegenstand leichter einzustellen, als dies unmittelbar mit dem großen Fernrohre geschähe, wird durch Korrektionsschrauben Y und Y' diesem letzteren parallel gestellt, so daß, wenn ein Objekt im Mittelpunkte des kleinen Fernrohrs steht, dasselbe sich auch im Centrum des großen zeigt. Die Schraube a kann statt mit freier Hand auch durch das Triebwerk W gedreht werden, wodurch das Fernrohr den Gestirnen in ihrem täglichen Laufe folgt und daher ein einmal in das Feld gebrachter Stern von selbst in demselben bleibt, so lange er über dem Horizonte steht. Auf die Einrichtung solcher Triebwerke werden wir weiter unten (§ 35) etwas näher eingehen.

§ 34. (Rektifikation des Äquatoriales.) Das Äquatorial giebt, wie oben erwähnt, unmittelbar Stundenwinkel und Poldistanz des damit beobachteten Gestirnes, falls es in allen seinen Teilen berichtigt und rektifiziert ist. Die vorzüglichsten dieser Rektifikationen, die es fordert, sind nun die folgenden:

1. Soll die Rotationsachse EF (Fig. 134) des Instrumentes in der Ebene des Meridianes liegen. 2. Soll sie gegen den Horizont um die Polhöhe des Beobachtungsortes geneigt sein. 3. Sollen die Alhidaden m, m' und n der beiden Kreise so gestellt sein, daß ein Vernier der ersten auf Null steht, wenn das Fernrohr nach dem Pole des Äquators gerichtet ist, und dies bei einem der zweiten der Fall ist, wenn der Kreis BB' oder sein Fernrohr CD in der Ebene des Meridianes liegt. 4. Soll der Kreis BB' der Rotationsachse EF parallel sein, und endlich auch 5. die optische Achse des Fernrohrs CD dem Kreise BB' parallel liegen.

Die beiden letzten Forderungen sind an Instrumenten, welche von auch nur halbwegs sorgfältigen Künstlern angefertigt wurden, immer erfüllt und bedürfen daher einer diesbezüglichen Prüfung und Berichtigung nicht, die stets sehr lästig und zeitraubend wäre.

Um die Drehungsachse EF sowohl in die Ebene des Meridianes als auch in die gehörige Neigung gegen den Horizont zu bringen, also den Forderungen 1 und 2 zu entsprechen, wird man am besten zunächst einen Teil der Forderung 3 erfüllen, nämlich den Indexfehler des Deklinationskreises BB' ermitteln und wegschaffen. Dies geschieht dadurch, daß man einen eben kulminierenden Stern, der also seine Höhe eine Zeitlang nur sehr langsam ändert, rasch nach einander in zwei Lagen des Instrumentes einstellt; einmal in jener Lage, wo der Deklinationskreis BB' östlich (das Fernrohr CD also westlich) von der Achse EF, das zweite Mal wo er westlich (oder das Fernrohr östlich) von ihr steht, und daß man beide Male *denselben* Vernier des Deklinationskreises abliest. Erhielte man so für die Poldistanz des Sternes beispielsweise die Lesungen: $86^0\ 30'\ 15''$ und $86^0\ 19'\ 45''$, so verschiebt man den Vernier mit den betreffenden Korrektionsschrauben so weit an seiner Alhidade, daß er auf die Mitte der beiden Lesungen, d. h. auf $86^0\ 25'\ 0''$ zeigt und stellt den zweiten Vernier so, daß er gerade um 180^0 verschieden weist, und hat dadurch den Indexfehler des Kreises weggeschafft.

Stellt man nun den Deklinationskreis auf die Poldistanz eines sich wieder gerade im Meridiane befindenden Sternes ein, so müßte dieser bei der Drehung des Fernrohres um die Polarachse EF durch den Mittelpunkt des Gesichtsfeldes passieren, falls diese Achse wirklich einen der Polhöhe gleichen Winkel mit dem Horizonte bildet. Geht also der Stern nicht durch die Mitte des Gesichtsfeldes, so läßt man durch einen Gehilfen mittels der Fußschraube S den Endpunkt E der Achse so lange höher oder tiefer schrauben, bis dies der Fall ist, und dann ist die zweite oben angegebene Bedingung erfüllt.

Wir haben nun noch die Drehungsachse EF in die Ebene des Meridianes zu richten. Zu diesem Zwecke stelle man mit Hilfe einer Libelle die Achse FG horizontal, d. h. in jene Lage, welche sie einnehmen muß, wenn das Fernrohr sich in der Ebene des Meridianes bewegen soll. Hierauf stelle man das Fernrohr einige Minuten vor seiner Kulmination auf die Poldistanz eines bekannten

Sternes, am besten die des Polarsternes ein, und lasse durch einen Gehilfen den einen Endpunkt E oder F der Drehungsachse so weit östlich oder westlich bewegen, bis der Stern im Augenblicke der Kulmination auf den dem Kreise BB' parallelen Faden, d. h. auf den Stundenfaden des Fernrohrs trifft. Dann liegt, wie die oben als erste aufgestellte Forderung es verlangt, die Rotationsachse EF in der Ebene des Meridianes.

Fehlen dem Instrumente die Korrektionsschrauben, durch welche man das eine Ende der Achse EF östlich und westlich rücken kann, so muß man dies durch Drehen des ganzen Stativs um den Fuß S bewirken. Dabei wird aber die Neigung der Achse EF gegen den Horizont in der Regel wieder etwas fehlerhaft. Man muß daher die früher beschriebene Operation nochmals wiederholen, wie denn überhaupt mehrere Nachbesserungen nötig werden, wenn das Instrument anfangs sehr falsch stand.

Bewerkstelligt man das Richten der Achse EF in den Meridian nach dem eben beschriebenen Verfahren, so lernt man auch unter Einem den Inderfehler des Stundenkreises kennen. Der eine Vernier des Instrumentes soll nämlich jetzt, wo das Instrument im Meridiane steht und Stundenwinkel giebt, auf $0^h\,0^m\,0^s$ zeigen. Ist dies nicht der Fall und die Lesung eine andere, so ist diese Lesung eben der Inderfehler. Stände nämlich beispielsweise der Vernier n auf $0^h\,1^m\,38^s$, so stände er um $1^m\,38^s$ zu weit westlich, und man kann entweder den Vernier um diesen Betrag durch die dazu bestimmten Schrauben an seiner Alhidade verschieben, so daß dieser Fehler verschwindet, oder man kann ihn, wenn er wie hier klein ist, auch bestehen lassen, und bei jeder Beobachtung in Rechnung ziehen, d. h. jede Lesung um den obigen Betrag verkleinern.

Verursacht es übrigens Schwierigkeiten, die Achse FG genau horizontal zu stellen, was, nebenbei gesagt, in der Regel der Fall sein dürfte, so kann man auch folgendermaßen vorgehen. Man stelle den Deklinationskreis auf die Poldistanz eines bekannten Gestirnes ein, das eben in einem Stundenwinkel von 6^h (90^0) östlich oder westlich vom Meridiane sich befindet, und verschiebe dann die Achse EF entweder mit den hierfür vorhandenen Korrektionsschrauben, oder durch Drehen des ganzes Stativs um den Fuß S, bis der Stern in der Mitte des Gesichtsfeldes steht. Ist dies geschehen, so hat man ebenfalls sein Ziel: die Achse EF in die Ebene des Meridianes zu legen, erreicht. Es ist aber nun noch der Inderfehler des Stundenkreises zu ermitteln. Diesen liefert sehr einfach jede Einstellung eines bekannten Sternes. Denn da die Sternzeit der Einstellung, vermindert um die Rektascension des Sternes, der wahre Stundenwinkel des Sternes ist, so giebt die Vergleichung dieses mit dem abgelesenen Stundenwinkel sofort den Inderfehler des Stundenkreises zu erkennen.

Ist das Instrument aber einmal auf obige Weise berichtigt, so kann man sich ebenso wie beim Meridiankreise Miren verschaffen, die es gestatten, dasselbe mit leichter Mühe wieder zu rektifizieren, falls es einmal, sei es durch Abnehmen

und Reinigen desselben, sei es aus irgend einer anderen Ursache in Unordnung geraten ist. Zu diesem Zwecke pointiere man sofort nach der Rektifikation zwei terrestrische Objekte, das eine nahe im Meridiane, das andere nahe im Stundenwinkel 90^0 gelegen, und lese die dabei stattfindenden Stellungen des Vernier am Deklinationskreise ab. So lange nun die beiden Objekte bei denselben Lesungen auf den Mittelpunkt des Gesichtsfeldes oder den Kreuzungspunkt der Fäden einspielen, ist das Instrument rektifiziert.

Solche Miren sind übrigens dann von besonderem Vorteile, wenn man, wie es namentlich bei Liebhabern der Astronomie öfter vorkommen dürfte, das Instrument nicht immer an seinem Platze belassen kann, sondern nur, wenn man damit beobachten will, etwa auf eine Plattform hinausschiebt. Läßt man nun auf dieser die Untersätze der Fußschrauben S, S' . . ein, damit das Instrument stets wieder auf denselben Ort zu stehen kommt, so kann man mit Hilfe der obigen Miren dasselbe auf folgende Art in wenigen Minuten rektifizieren. Man stelle den Vernier zuerst auf die zum Objekte im Meridiane gehörige Lesung, und bringe es durch Heben oder Senken der Fußschraube S dahin, daß das Objekt vom Fadenkreuze getroffen wird. Hierauf stelle man den Vernier auf die zum zweiten Objekte gehörige Lesung, klemme die Alhidade und führe das Fernrohr auf das zweite Objekt. Spielt es nicht ein, so drehe man die Korrektionsschrauben, welche ein Ende der Achse EF östlich oder westlich rücken, oder die Fußschraube S' oder endlich das ganze Instrument um seine Säule P, bis dies der Fall ist.

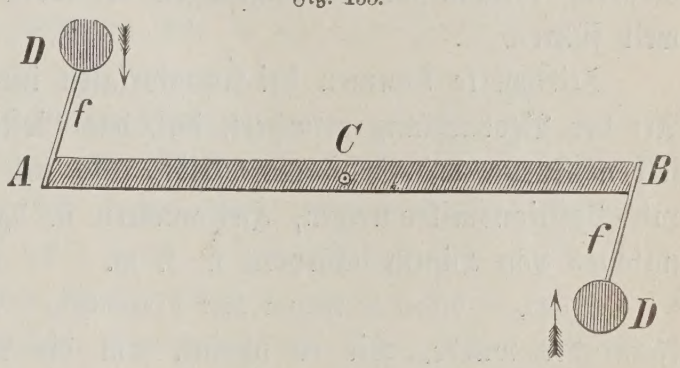
Um endlich, selbst bei einer etwas fehlerhaften Stellung des Instruments, doch auf ein gesuchtes Gestirn so genau einzustellen, als es die Teilungen der Kreise zulassen, wird man am besten vorerst ein dem gesuchten nahes, bekanntes Gestirn in den Mittelpunkt des Feldes bringen, durch Ablesen der beiden Verniere m und n und Vergleichung mit der wahren Poldistanz und dem wahren Stundenwinkel den Betrag bestimmen, um welchen diese Größen in der betreffenden Gegend des Himmels zu ändern sind, damit das fragliche Gestirn im Mittelpunkte des Sehfeldes erscheine, um nun auf das gesuchte Gestirn mit dessen um diese Beträge geänderten Position einzustellen.

§ 35. (Triebwerke bei Äquatorialen.) Die Triebwerke an Äquatorialen haben die Bestimmung, das Fernrohr im Sinne der Parallelkreise zum Äquator, übereinstimmend mit der scheinbaren täglichen Bewegung der Gestirne, fortzurücken. Für diesen Zweck ist es am natürlichsten, die Mikrometerschraube a, welche den Äquatorialkreis AA' (Fig. 134, S. 960) bewegt, durch irgend eine Vorrichtung beständig zu drehen. Dies kann unter anderem durch die mit den gezähnten Rädern g und h unter einander verbundenen Gewichte T und U bewirkt werden, von denen das eine, schwerere U durch das Abwickeln seiner Schnur von der Welle des Rades g, das in den ebenfalls gezähnten Kopf der Schraube a eingreift, dieses Rad, und damit auch die Schraube bewegt. Man sieht, daß

eigentlich nur die Differenz der beiden Gewichte T und U als treibende Kraft wirkt; deshalb sind statt eines zwei Gewichte mit der nach Art eines Flaschenzuges eingerichteten Verbindung durch die Räder g und h angebracht, um das durch Anziehen der linken Schnur am Gewichte T zu bewerkstelligende Aufziehen des Werkes minder oft nötig zu machen und durch die stärkeren Gewichte Reibung, Steifheit der Schnüre u. a. zu überwinden. Die Gewichte allein würden die Schraube a mit beschleunigter und nicht, wie es gefordert wird, mit gleichförmiger Geschwindigkeit drehen. Um diese Gleichförmigkeit herzustellen, ist an der Rückseite des Rades g ein zweites gezähntes Rad befestigt, das in eine horizontal liegende Schraube ohne Ende eingreift. Diese Schraube steht mit der Uhr W in Verbindung und zwingt so das Triebwerk ghTU, gerade mit derjenigen Geschwindigkeit abzulaufen, welche die Uhr eben zuläßt. Für das Triebwerk ist also die eben erwähnte Schraube ohne Ende die Hemmung, die Uhr aber der Regulator.

Die Uhr nun, deren bewegende Kraft das Gewicht V ist, unterscheidet sich von anderen Uhren wesentlich nur durch ihren Regulator. Die gewöhnlichen Regulatoren finden nämlich hier keine Anwendung, da sie sämtlich ruckweise wirken und so dem Fernrohre beständig Stöße geben würden, die dem deutlichen Sehen schadeten.

Fig. 135.



Man mußte also auf einen Regulator bedacht sein, der stetig wirkt. Liebherr in München hat zu diesem Behufe das Centrifugalpendel eingeführt. An der Achse C (Fig. 135) eines der Uhrräder ist der horizontale Schwungbalken AB befestigt und trägt auf seinen Enden an geraden Stahlfedern f die linsenförmigen Gewichte D. Das Ganze ist in einer konischen Büchse eingeschlossen, deren Wände in geringer Entfernung von den Gewichten D stehen. Wird nun die Uhr in Bewegung gesetzt, so dreht sich der Schwungbalken AB in der Richtung der Pfeile, anfangs mit beschleunigter Geschwindigkeit, bis die dadurch erzeugte Fliehkraft, der die Gewichte D an ihren Federn f nachgeben können, diese Gewichte so weit vom Mittelpunkt C entfernt hat, daß sie die Wand des Gefäßes berühren und sich an ihr zu reiben beginnen. Diese Reibung nimmt so lange zu, bis das dadurch hervorgerufene Hindernis mit der Beschleunigung der durch das Gewicht V bewirkten Bewegung ins Gleichgewicht kommt und eben dadurch diese Bewegung in eine gleichförmige überzugehen zwingt. Geht die Uhr dann etwa noch zu schnell, so wird man den Schwungbalken tiefer in die konische Büchse stellen und so die Reibung vermehren; umgekehrt, wenn die Uhr zu langsam geht.

Das Centrifugalpendel in dieser oder einer andern Form ist seither im

Grunde genommen stets als Regulator für die Triebwerke bei Äquatorialen beibehalten worden, wenn auch inzwischen vielfache Modifikationen in der Art vorgenommen wurden, in der hierbei die Reibung mitwirkt. Übrigens litten eine lange Zeit hindurch alle Vorrichtungen dieser Art an dem Übelstande, daß sie für die große Masse, welche sie bewegen sollen, zu zart gebaut waren, und deshalb auch geringfügigen, zufälligen Störungen nicht genug lebendige Kraft entgegensetzen konnten, um ihren Gang unverändert beizubehalten. Diesen Übelstand hat man, hauptsächlich seit der Einführung der Spektralbeobachtungen, für welche ein gutes Triebwerk noch viel wesentlicher ist, als für alle übrigen Beobachtungen, wohl beseitigt: allein es zeigte sich dann, daß die Triebwerke, den gesteigerten Anforderungen der Astronomen gegenüber, noch so manches zu wünschen übrig ließen. Es haben daher namentlich Foucault, Bond u. a. noch Zwischenvorrichtungen eingeschaltet, welche die Gleichförmigkeit des Ganges zu erhöhen geeignet sind: die nähere Auseinandersetzung derselben, die zum Teile auch komplizierte mechanische Betrachtungen erfordern würde, würde uns indes hier zu weit führen.

Triebwerke kommen bei Äquatorialen immer dann in Anwendung, wenn die Art der Beobachtung erfordert, daß das Gestirn eine Weile unverändert an derselben Stelle des Sehfeldes bleibt, also bei Spektraluntersuchungen, Messungen mit Positionsmikrometern, Heliometern u. dgl., dann bei photographischen Aufnahmen von Himmelskörpern u. s. w.

§ 36. (Historische Notizen über Äquatoriale.) Die parallaktische Aufstellung eines Fernrohrs wurde, wie es scheint, um die Mitte des vorigen Jahrhunderts in England erdacht. Doch ließ die Konstruktion und infolgedessen auch die Handhabung der ersten Instrumente dieser Art, die man parallaktische Maschinen nannte, noch gar manches zu wünschen übrig, weshalb sie auch keine weitere Verbreitung finden konnten. Erst mit dem Auftreten Reichenbach's vollzog sich auch hierin ein Umschwung. Er gab den Äquatorialen die Form, die bisher, wenn auch mit vielfachen Veränderungen und tief einschneidenden Verbesserungen, wenigstens für Fernrohre mittlerer Dimensionen, von den deutschen Künstlern im ganzen und großen beibehalten wurde, und deshalb auch heute noch in England als German form bezeichnet wird. Reichenbach stattete einzelne seiner Äquatoriale auch mit Kreisen bis zu 1 m Durchmesser aus, um sie zu absoluten Ortsbestimmungen der Gestirne geeignet zu machen: diesen Zweck erfüllten sie aber nicht in entsprechendem Maße. (Vgl. den folgenden § 37). Da indes Differenzbeobachtungen trotz mancher unleugbarer Vorteile auch Nachteile haben, worunter, abgesehen von der Weitläufigkeit ihrer Berechnung, namentlich der zu zählen ist, daß man häufig keinen wohlbestimmten Stern in der Nähe des unbekannten Objektes antrifft, wurde das Problem, vollkommene Äquatoriale zu bauen, in unseren Tagen wieder aufgenommen, und es scheint auch in der That dem berühmten Mechaniker Repsold in Hamburg an einigen Äquatorialen,

allerdings von bescheidenen Dimensionen, die er für die Sternwarten von Gotha, Kiel, Christiania u. s. w. lieferte, eine allen Anforderungen genügende Konstruktion gelungen zu sein, die der Idee nach von P. A. Hansen herrührt.

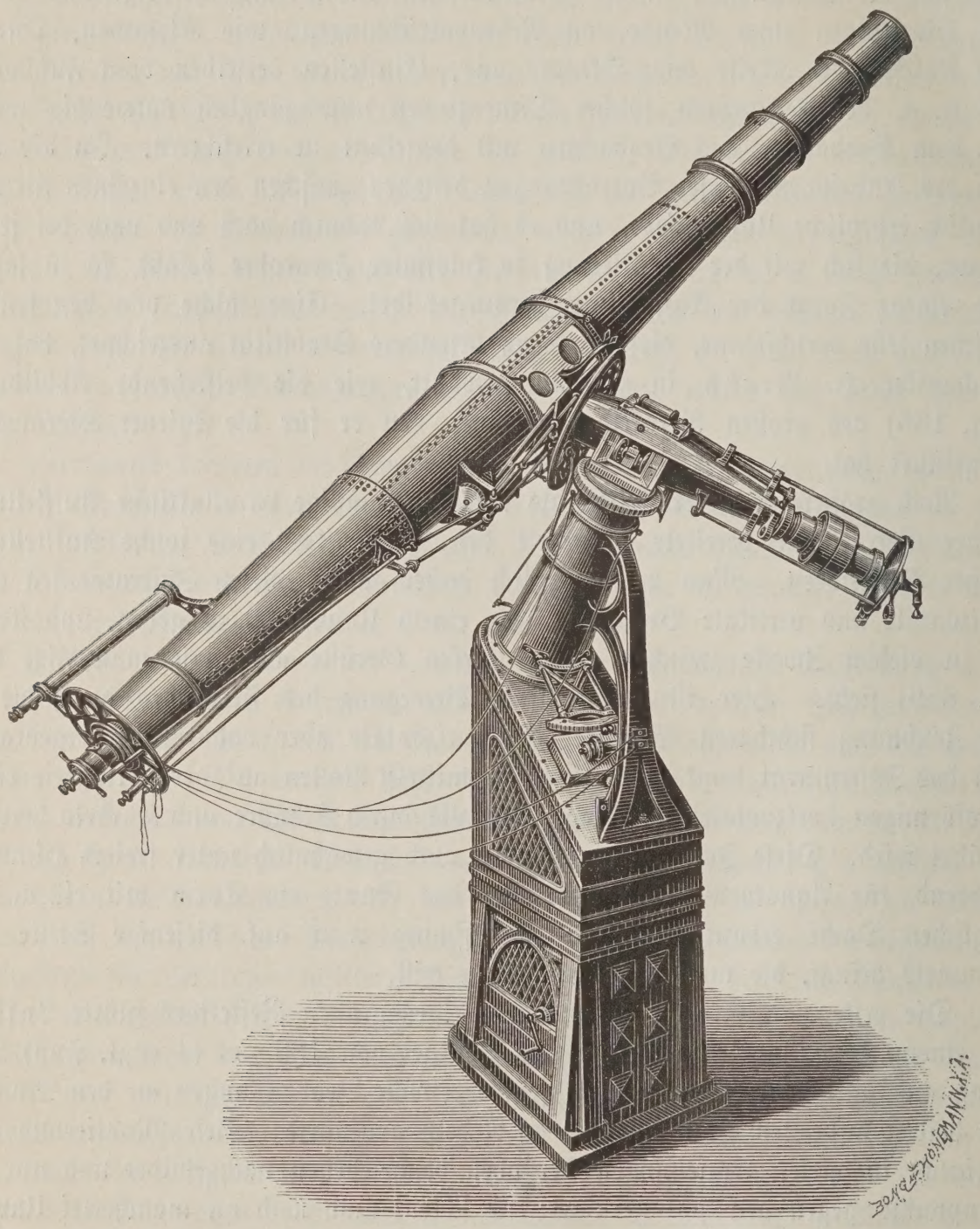
Die Anfertigung der Riesenfernrohre hat übrigens in der neueren Zeit erhebliche Komplikationen in der parallaktischen Montierung herbeigeführt, weil das Hinzufügen einer Menge von Nebenvorrichtungen, wie Klemmen, Öffnen und Ablesen der Kreise vom Okulare aus, Einstellen derselben vom Fußboden aus u. a. bei Fernrohren solcher Dimensionen unumgänglich notwendig wird, um dem Beobachter das Beobachten mit denselben zu erleichtern. In der Art nun des Anbringens dieser Vorrichtungen bestehen zwischen den einzelnen Firmen ziemlich erhebliche Unterschiede, und es hat sich dadurch nach und nach bei jeder Firma, die sich mit der Montierung so kolossaler Fernrohre befaßt, so zu sagen eine eigene Form der Aufstellung herausgebildet. Eine solche von den früher üblichen sehr verschiedene, die sich durch besondere Stabilität auszeichnet, hat der Mechaniker H. Grubb in Dublin gewählt, wie die beistehende Abbildung (Fig. 136) des großen Refraktors darthut, den er für die Wiener Sternwarte ausgeführt hat.

Noch größere Schwierigkeiten als eine zweckmäßige parallaktische Aufstellung großer Refraktoren bereitete seinerzeit den Mechanikern eine solche Aufstellung großer Reflektoren. Man begnügte sich daher damit, diesen Instrumenten eine horizontale und vertikale Bewegung (wie einem Universale) zu geben, und stellte sie zu diesem Zwecke zwischen einem starken Gerüste auf, wie man Fig. 113 (S. 889) sieht. Hier ist die vertikale Bewegung des Fernrohrs durch die in der Zeichnung sichtbaren Schnüre, die horizontale aber dadurch hervorgebracht, daß das Instrument samt seinem Gerüste mittelst Rollen auf der Peripherie einer kreisförmigen horizontalen Unterlage ebenfalls durch Schnüre und Kurbeln herumgeführt wird. Diese Instrumente standen auch gewöhnlich unter freiem Himmel, während für Äquatoriale um und über das Ganze ein Turm mit einem beweglichen Dache erbaut wird, dessen Öffnung man auf diejenige Stelle des Himmels bringt, die man eben beobachten will.

Die erste parallaktische Montierung eines großen Reflektors führte Lassell an einem von ihm selbst verfertigten Spiegel von 122 cm (4 engl. Fuß) Öffnung aus, mit dem er auf Malta sehr wertvolle Beobachtungen an den Monden der beiden äußersten Planeten und an Nebeln ausführte. Diese Montierung war übrigens in vielen Beziehungen der oben beschriebenen nachgebildet und nur die Hauptachse gegen den Pol gerichtet; sie scheint auch noch an mancherlei Unvollkommenheiten gelitten zu haben. Die erste ganz gelungene parallaktische Montierung eines Reflektors, ebenfalls von 122 cm Öffnung und etwa 9 m Brennweite, verdanken wir erst Th. Grubb (dem Vater des früher genannten H. Grubb), dessen für die Sternwarte von Melbourne ausgeführten Reflektor obiger Dimensionen Fig. 137 in allem nötigen Detail wiedergiebt.

So unleugbare Vorteile die parallaktische Aufstellung auch darbietet, wenn es sich um Beobachtung eines Gestirnes handelt, dessen Position von vornherein

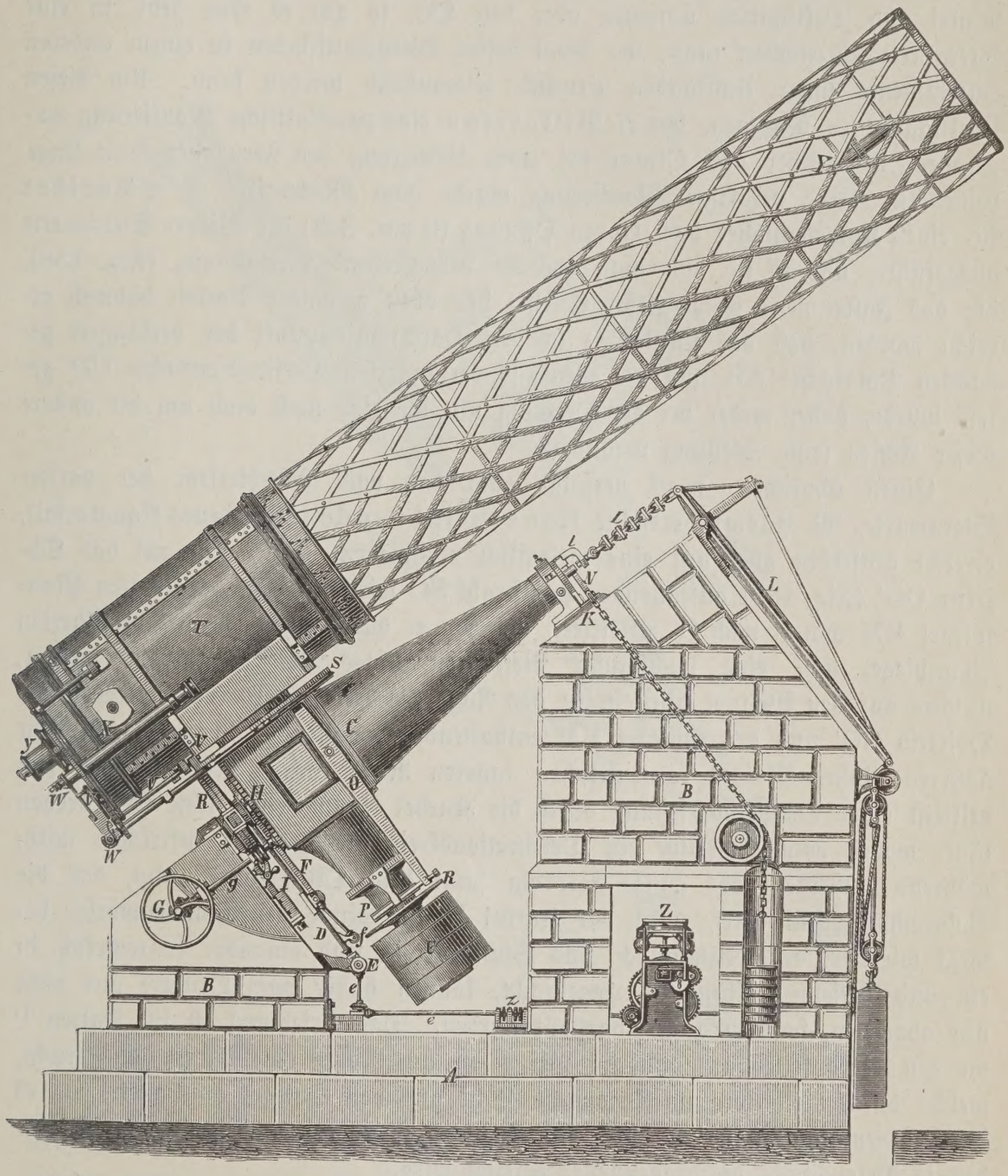
Fig. 136.



so nahe bekannt ist, daß es bei seiner Einstellung sofort im Gesichtsfelde des Fernrohrs sich befindet, so unbequem wird sie andererseits, wenn man einen größeren Teil des Himmels nach einem unbekannten Gestirne, sagen wir einem

Kometen absuchen soll. Dies wird nämlich deshalb eine sehr ermüdende und anstrengende Arbeit, weil das Okular bei der Drehung des Fernrohrs um die

Fig. 137.



Polarachse einen gegen den Horizont schief auf- oder absteigenden Kreis beschreibt. Man montiert daher sogenannte Kometensucher selten parallaktisch, sondern versieht sie mit Stativen, die Bewegungen in Höhe und Azimut aus-

führen. Dies hat aber den Nachteil, daß man beim Auffinden eines verdächtigen Objektes aus den Kreisleſungen bloß das Azimut und die Höhe desſelben erhält, und ſich daher, um es an einem anderen Fernrohre aufzuſuchen, entweder durch eine immerhin läſtige Rechnung erſt Azimut und Höhe in Stundenwinkel und Deklination umſetzen oder den Ort, ſo gut es eben geht, in eine Sternkarte einzeichnen muß, wo dann deſſen Wiederauffinden in einem anderen Inſtrumente unter Umſtänden ziemlich zeitraubend werden kann. Um dieſen Übelſtänden zu begegnen, hat Y. Villarceau eine parallaktiſche Montierung angegeben, in welcher das Okular bei jeder Bewegung des Fernrohrs ſeine Lage beibehält. Eine derartige Montierung wurde vom Mechaniker E. Schneider für einen Kometenſucher von 16 cm Öffnung (6 par. Zoll) der Wiener Sternwarte ausgeführt, und es iſt, wie man aus der nebenſtehenden Zeichnung (Fig. 138), die das Inſtrument wiedergiebt, erſieht, der oben genannte Vorteil dadurch erreicht worden, daß das Okular O in den Durchſchnittspunkt der verlängert gedachten Polarachſe AB und der ebenfalls verlängerten Deklinationsachſe CD geſetzt wurde, daher weder bei der Drehung um die eine noch auch um die andere dieſer Achſen ſeine Stellung verändert.

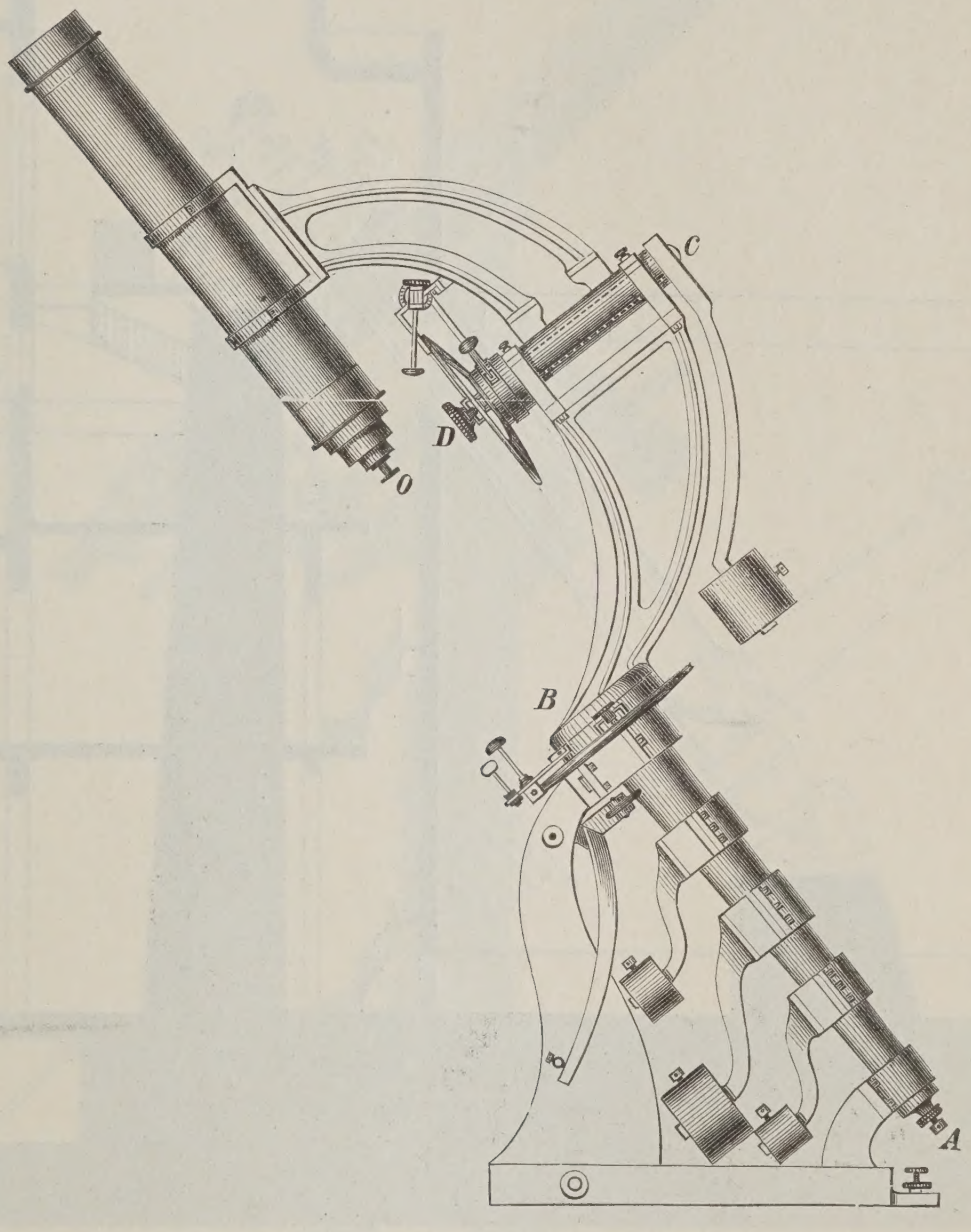
Einen ähnlichen Zweck verfolgt auch das vom Vicedirektor der pariſer Sternwarte, M. Loewy, erdachte Equatorial coudé (gebrochenes Äquatorial), erreicht denſelben aber auf eine weſentlich verſchiedene Art. Ein auf das Objektiv OO′ (Fig. 139) auffallender Lichtſtrahl SC wird an dem verſilberten Planſpiegel MM von C nach C′ reflektiert, von wo er durch einen zweiten verſilberten Planſpiegel mm eine nochmalige Reflektion längs des Okularrohrs abba, welches auf den Weltpol hinzielt, in das Auge des Beobachters erfährt. Der das Objektiv OO′ und den Spiegel MM enthaltende Metallkubus iſt an einem, dem äußeren Rohre EDDE konzentriſchen inneren Rohre edde befeſtigt, das ſich mittelſt einer Doppelüberſetzung durch die Kurbel S um ſeine Achſe CC′ drehen läßt, wobei vom Objektive ein Deklinationskreis am Himmel beſtrichen wird, während außerdem das ganze Fernrohr ſamt dem Okularrohre abba, das die Polarachſe repräſentiert, durch die Kurbel K im Sinne der Stundenwinkel bewegt wird. Der Deklinations- und Stundenkreis ſind einander konzentriſch in ein und derſelben Ebene nn angebracht, können daher vom Okulare aus nicht nur abgeleſen, ſondern auch eingeſtellt werden. Das Triebwerk iſt im Kaſten T an den Nordpfeiler anmontiert. Bei γ iſt am Rohre eine Lampe angebracht, welche durch Reflexion am Prisma ε Licht auf den Spiegel mm wirft, wo es durch abermalige Reflexion durch eine kleine nicht verſilberte Öffnung ins Okular behufs Beleuchtung des Fadennetzes geleitet wird.

Dieſe Konſtruktion hat den oft ganz unſchätzbaren Vorteil, daß der Beobachter ſtets in unveränderter, ſehr bequemer Stellung, ja ſogar wie hier erſichtlich in einem geſchloſſenen Raume beobachten kann, und daß man auch durch einfachere Vorrichtungen als eine koſtſpielige Drehkuppel das Beobachten mit

einem derartigen Instrumente ermöglichen kann, weil der bewegliche Teil desselben, das Objektivrohr EDDE nebst dem Rohre GHHG, welches das Balanziergewicht P trägt, nur in der Ebene des Äquators sich bewegt.

Schließlich sei noch erwähnt, daß vornehmlich englische Künstler beide Auf-

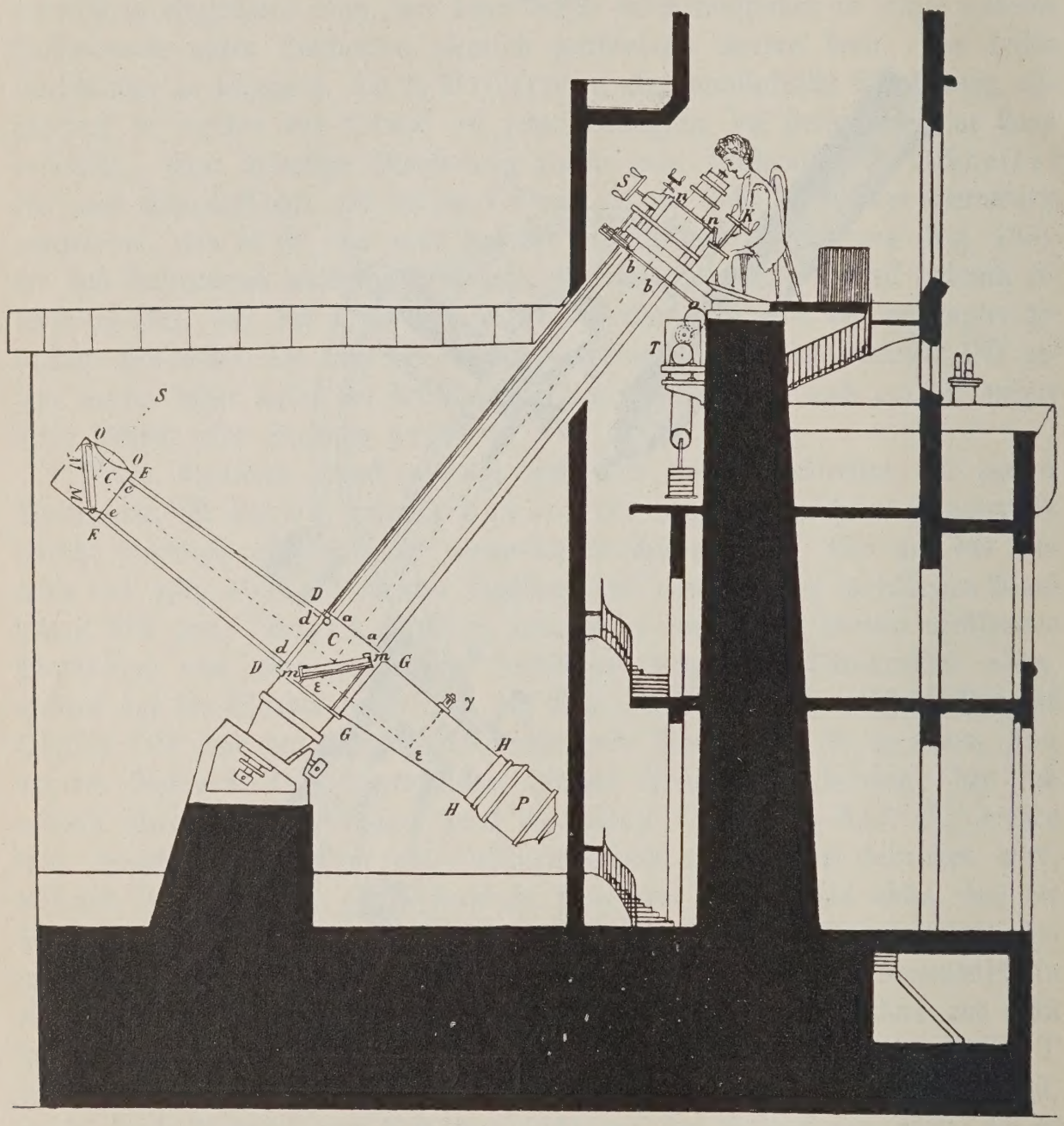
Fig. 138.



stellungsarten, die parallaktische und die nach Höhe und Azimut dadurch zu vereinigen trachteten, daß sie den Beobachter in den Stand setzten, gewöhnliche horizontale Montierungen mittelst eines die wesentlichen Teile eines Äquatoriales darstellenden Aufsatzes, der zwischen das Fernrohr und das horizontale Gestell geschoben wird, sofort in eine parallaktische zu verwandeln: eine Einrichtung, der man den Namen Universalstativ gegeben hat.

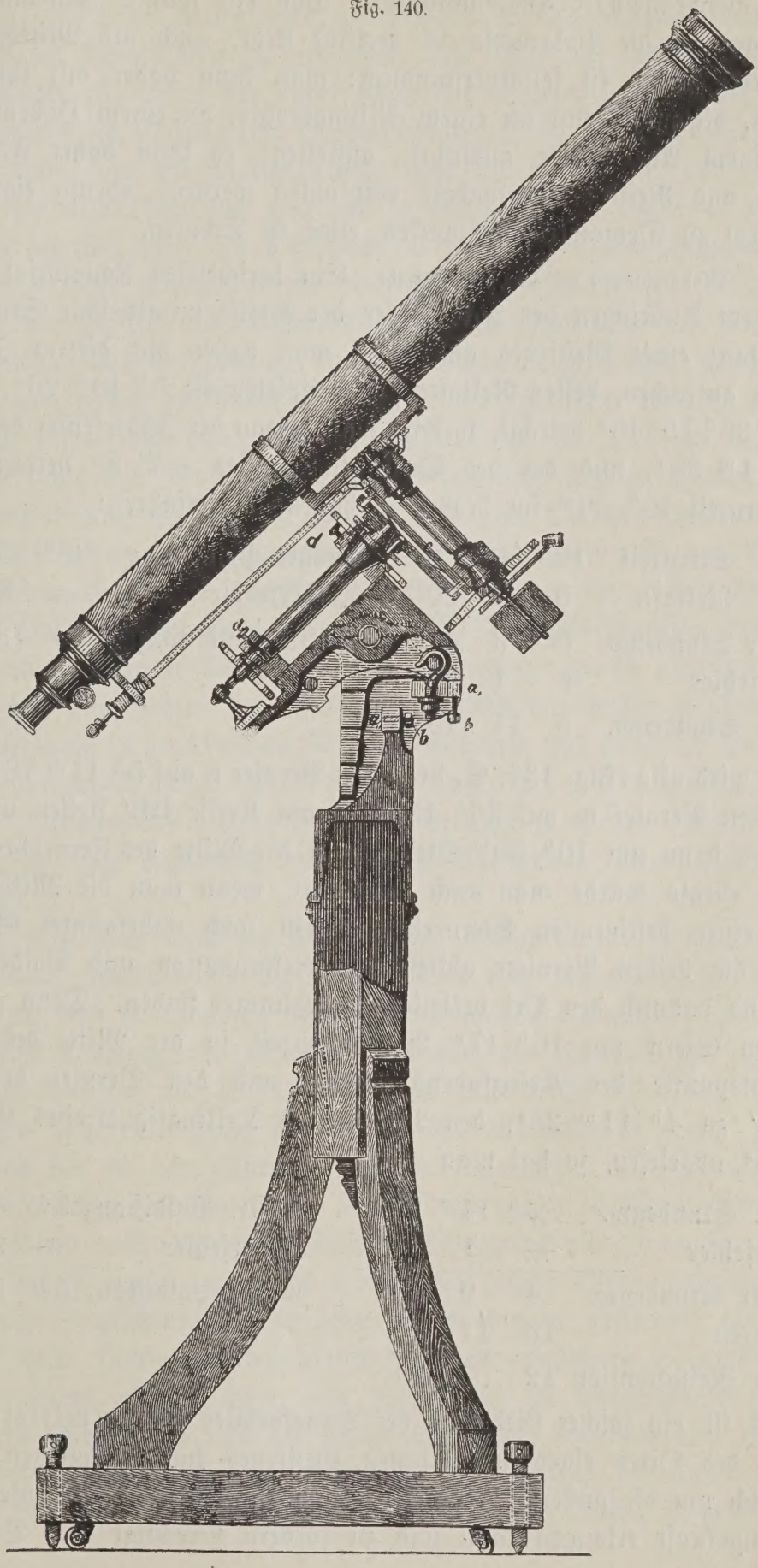
Ein solches, in mancher Hinsicht aber den eben erwähnten englischen überlegenes Universalstativ hat Herr G. Fischer ersonnen und vom Mechaniker Hartmann ausführen lassen. Die nebenstehende Zeichnung (Fig. 140) zeigt uns das

Fig. 139.



Instrument in jener Stellung, in welcher es als Äquatorial verwendet wird. Zur Umstellung in einen Theodoliten gehören die beiden Anschläge a^1 und a^2. Die Korrektionsschrauben b dienen dazu, die jeweilige Einstellung aufs Genaueste zu regeln; übrigens kann die eine in der parallaktischen Aufstellung zugleich zur Polhöhenänderung dienen, so daß diese leicht innerhalb des Intervalles 45^0 bis 55^0 verstellt werden kann. Die Feststellung in beiden Lagen endlich geschieht

Fig. 140.



durch eine auswechselbare Hackenschraube. Daß ein solches Instrument in der zweiten Lage, wo die Polarachse dd vertikal steht, auch als Mittagsrohr verwendet werden kann, ist selbstverständlich: man kann daher mit ihm alle Beobachtungen, die man sonst an einem Mittagsrohre, an einem Höheninstrumente und an einem Äquatoriale ausführt, anstellen: es kann daher Freunden der Astronomie und Reisenden besonders empfohlen werden; ebenso eignet es sich auch sehr gut zu Demonstrationszwecken, etwa in Schulen.

§ 37. (Beobachtungen mit dem Äquatorial.) Ein berichtigtes Äquatorial giebt nach entsprechendem Anbringen der Indexfehler der Kreise unmittelbar Stundenwinkel und Poldistanz eines Gestirnes an. Will man daher mit diesem Instrumente einen Stern aufsuchen, dessen Rektascension beispielsweise $5^h\ 40^m\ 20^s$, und dessen Poldistanz $36^0\ 15'\ 40''$ beträgt, so wird man, wenn der Indexfehler des Stundenkreises $-\ 1^m\ 38^s$, und der des Deklinationskreises $+\ 2'\ 8''$ beträgt, um ihn zu der Sternzeit $10^h\ 50^m$ im Rohre zu haben, so verfahren:

Sternzeit	10^h	50^m	0^s	wahre Poldistanz	36^0	$15'$	$40''$
Rektasc.	5	40	20	Indexfehler	—	2	8
wahrer Stundenw.	5	9	40	Instr. Poldistanz	36	13	32
Indexfehler	+	1	38				
Instr. Stundenw.	5	11	18				

Man wird also (Fig. 134, S. 960) den Vernier n auf $5^h\ 11^m\ 18^s$ am Kreise AA′ und den Vernier m auf $36^0\ 13'\ 32''$ am Kreise BB′ stellen und der verlangte Stern dann um $10^h\ 50^m$ Sternzeit in der Mitte des Fernrohrs erscheinen.

Ganz ebenso würde man auch umgekehrt, wenn man die Mitte des Fernrohrs zu einer bestimmten Sternzeit auf ein noch unbekanntes Gestirn stellt und dann die beiden Verniere ablieſt, die Rektascension und Poldistanz dieses Gestirns und dadurch den Ort desselben am Himmel finden. Denn gesetzt, man hätte diesen Stern um $16^h\ 17^m\ 20^s$ Sternzeit in der Mitte des Feldes im Durchschnittspunkte des Kreuzfadens gesehen und den Vernier des Äquatorkreises AA′ zu $4^h\ 11^m\ 28^s$, den Vernier des Deklinationskreises BB′ aber zu $54^0\ 3'\ 20''$ abgelesen, so hat man

Instr. Stundenw.	4^h	11^m	28^s	Instr. Poldistanz	54^0	$3'$	$20''$
Indexfehler	—	1	38	Indexfehler	+	2	8
wahrer Stundenw.	4	9	50	wahre Poldistanz	54	5	28
Sternzeit	16	17	20				
wahre Rektascension	12	7	30				

Indes ist ein solcher Gebrauch des Äquatoriales zur unmittelbaren Bestimmung des Ortes eines unbekannten Gestirnes im allgemeinen unthunlich, wenn es sich um die äußerste Genauigkeit handelt, die man mit unserer heutigen Beobachtungskunst erlangen kann und zu fordern berechtigt ist. Diese Instru-

mente zeigen nämlich, was bei der schiefen Lage ihrer Achsen nicht zu verwundern ist, keine genügende Unveränderlichkeit ihrer Korrektionen, um mit ihnen jenen Grad der Genauigkeit zu erreichen, den man auf anderen Wegen zu erreichen imstande ist. Man hat daher schon seit längerer Zeit auf die Anwendung des Äquatoriales zu absoluten Beobachtungen, d. h. zu solchen Beobachtungen, bei denen man, wie am Meridiankreise oder am Universale, aus den Angaben der Kreise unmittelbar den Ort des zu bestimmenden Gestirnes ableitet, verzichtet, und begnügt sich, mit demselben Differenz-Beobachtungen anzustellen. Wenn man nämlich mit geeigneten Vorrichtungen, sogenannten Mikrometern, von denen wir sogleich die vorzüglichsten werden kennen lernen, den Unterschied in Rektascension und Deklination eines unbekannten Gestirnes, sagen wir eines Asteroiden, von einem bekannten nahestehenden Fixsterne ermittelt, so hat man damit auch, mindestens indirekt oder mittelbar den Ort des Asteroiden bestimmt, da man ihn sofort erhält, wenn man den eben gefundenen Unterschied in Rektascension und Deklination an den bekannten Ort des Fixsternes anbringt.

Die Differenz-Beobachtungen gewähren übrigens noch den Vorteil, daß man die kleinen, selbst bei sorgfältiger Rektifikation immer noch zurückbleibenden Fehler des Instrumentes nicht weiter zu berücksichtigen braucht; denn, da das bekannte und unbekannte Gestirn der Voraussetzung gemäß einander sehr nahe stehen, werden alle Fehler des Instrumentes den Ort beider Himmelskörper so gut wie vollständig in demselben Maße verfälschen, und daher in der Differenz der Orte unmerklich sein. Man braucht daher bei Differenzbeobachtungen die Fehler des Instrumentes nur in so engen Grenzen zu halten, daß die Verniere, Kreise u. s. w. zur bequemen und sicheren Aufsuchung eines Gestirnes richtig genug stehen.

Wenn man aber auch die Kreise nicht zu eigentlichen Messungen zu benützen vermag, gewährt ein Äquatorial oder eine sogenannte parallaktische Aufstellung dem Astronomen doch ganz unschätzbare Vorteile. In welche Lage nämlich durch Drehung um die Achse FG auch das Fernrohr CD gestellt wird, so beschreibt dasselbe, bei der Drehung um seine Achse EF, doch immer einen Kegel, dessen Achse die Linie EF, d. h. die Weltachse ist, oder mit anderen Worten: das bis an den Himmel verlängerte Fernrohr beschreibt daselbst einen Kreis um die Achse des Äquators. Allein einen ganz ähnlichen Kreis beschreibt auch jeder Stern während seiner täglichen Bewegung am Himmel, woraus also folgt, daß das Fernrohr, wenn es einmal auf einen Stern gebracht und dann mittelst seiner Druckschraube B an seine Alhidade mm' geklemmt wird, nur entweder aus freier Hand oder besser mit der oben erwähnten Schraube a um die Achse EF gedreht werden darf, um den Stern im Gesichtsfelde zu erhalten. Ganz anders verhält sich dies bei einem Fernrohre, das bloß eine vertikale und eine horizontale Bewegung hat. Denn da die Gestirne bei ihrem Gange eine aus diesen beiden zusammengesetzte schiefe Bewegung haben, so geschieht es nur

zu häufig besonders bei stärkeren Vergrößerungen, daß der Beobachter den Stern aus dem Gesichtsfelde verliert, und ihn dann oft nicht ohne Mühe wieder aufsuchen muß, was bei einem parallaktisch aufgestellten Fernrohre nie besorgt werden darf. Deshalb gewährt auch die parallaktische Aufstellung das beste und bequemste Mittel, die größeren Gestirne selbst bei Tage oder auch bei Nacht diejenigen lichtschwachen Gestirne aufzusuchen, die man mit unbewaffnetem Auge nicht mehr bemerken kann. Man braucht dazu nur, wie im vorigen Beispiele angegeben ist, vorzugehen, um das gesuchte Gestirn beinahe ohne alle Rechnung in sein Fernrohr bringen und beobachten zu können. Hat man aber etwa den Augenblick, für welchen die Einstellung galt, versäumt, so ist nur der Stundenwinkel um die seitdem verflossene Zeit zu vergrößern, da sich von den beiden Einstellungsgrößen bloß dieser und zwar gleichförmig ändert.

§ 38. (Schraubenmikrometer.) Es wurde bereits gesagt, daß sich in dem Brennpunkte jedes Fernrohrs, wenn dasselbe auf einen Gegenstand gerichtet wird, ein kleines, sehr deutliches Miniaturbild desselben entwirft, und daß man daher in der durch diesen Punkt auf die Achse des Fernrohrs senkrechten Ebene mehrere Fäden zu spannen pflegt, durch welche das Gesichtsfeld des Fernrohrs gleichsam in verschiedene Partieen eingeteilt wird. Diese Fäden dienen zur genauen Bestimmung der Lage der Gestirne, die man in dem Augenblicke beobachtet, wo sie von diesen Fäden bedeckt werden.

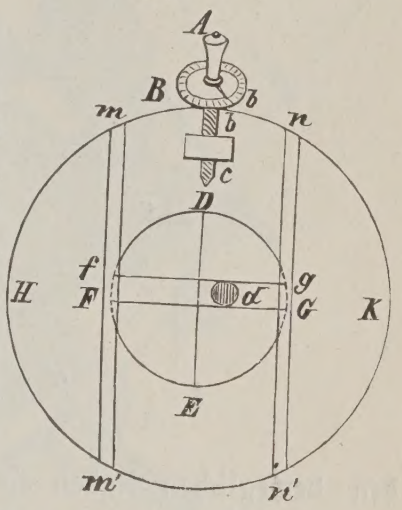
Bisher haben wir nur die einfachste Gattung dieses Fadennetzes kennen gelernt, nämlich drei oder mehrere senkrechte, unter sich parallele Fäden, die von einem horizontalen geschnitten werden, wo man dann z. B. bei dem Mittagsrohre an den vertikalen Fäden die Rektascension und bei dem Meridiankreise überdies an dem horizontalen Faden die Höhe oder die Deklination der Gestirne zu beobachten hat. Wäre es aber möglich, unseren Fadennetzen eine solche Einrichtung zu geben, daß man damit nicht bloß wie bisher die Appulse der Sterne an die Fäden beobachten, sondern daß man damit auch wenigstens solche Intervalle am Himmel messen könnte, die das Gesichtsfeld des Fernrohrs nicht übersteigen, so würde uns ein solches Netz bei der Beobachtung von Planeten und Kometen von dem größten Nutzen sein: denn nun dürfte man ein damit versehenes Fernrohr nur auf einen bekannten Fixstern richten, der von dem Planeten, den man beobachten will, nicht zu weit entfernt ist, um auch diesen noch einige Zeit vor oder nach dem Stern in dem Felde des unverrückten Fernrohrs wahrnehmen zu können. Dann wird man mittelst jener Fäden nur den Abstand beider Gestirne von einander messen, um sofort, da der Ort des Fixsterns am Himmel schon bekannt ist, auch den gesuchten Ort des Planeten zu erhalten.

Von solchen Vorrichtungen, die man Mikrometer genannt hat, da sie zur Messung von kleinen Distanzen (*μικρός* klein, *μέτρον* Maß) bestimmt sind, besitzen wir mehrere, nach verschiedenen Prinzipien konstruierte Gattungen: eine der einfachsten ist das sogenannte Schraubenmikrometer.

An dem drehbar eingerichteten Okularstutzen ist auf einer in dem Brennpunkte des Fernrohrs senkrecht auf dessen Achse befestigten und in ihrer Mitte kreisförmig durchbohrten Messingplatte HK (Fig. 141) ein horizontaler Faden FG und ein vertikaler DE befestigt. Auf dieser Platte sind zwei Leisten mm' und nn' angebracht, zwischen welchen und der Platte sich eine zweite, ebenfalls durchbohrte Platte, parallel mit jener ersten, mittelst einer sehr feinen Schraube Ac von durchaus gleichen Windungen auf und ab bewegen läßt. Diese zweite Platte ist auch mit einem horizontalen Faden fg versehen, der, wenn sie durch ihre Schraube bewegt wird, parallel mit dem ersten FG auf und ab rückt. Diese Schraube trägt bei ihrer Handhabe A einen Index b, der während der Umdrehung der Schraube auf einer eingeteilten Scheibe B herumgeht und dadurch noch z. B. den hundertsten Teil einer Umdrehung dieser Schraube anzeigt.

Mit Hilfe eines solchen Mikrometers kann man unter der Voraussetzung, daß der Bogenwert einer Umdrehung der Schraube bekannt ist, an einem parallaktisch aufgestellten Fernrohre die Rektascensions- und Deklinationsdifferenz zweier benachbarten Gestirne auf folgende Art ermitteln.

Fig. 141.



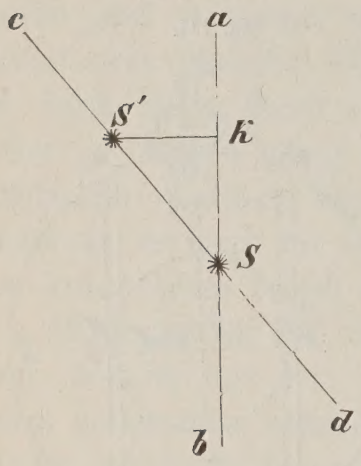
Man stellt zuerst den Faden FG dadurch dem Äquator parallel, daß man vor dem Beginne der Beobachtung einen Stern in das Feld eintreten läßt, und die Platte HK mittels der dafür vorhandenen Schraube so dreht, daß er durch die ganze Länge des Feldes den Faden FG nicht verläßt. Ist dies geschehen, so schraubt man den beweglichen Faden fg auf den einen Stern, während er durch das Feld des Fernrohrs geht, liest die Stellung der Schraube auf der eingeteilten Scheibe B ab, und notiert auch die Zeit des Durchganges des Sternes durch den festen Faden DE, der nach der vorherigen Orientierung des Netzes in der Ebene eines Deklinationskreises liegt. Dasselbe thut man nun auch mit dem bald darauf folgenden zweiten Gestirne. Die Differenz der Schraubenumdrehungen mit dem Bogenwert einer solchen multipliziert giebt sofort die Deklinationsdifferenz beider Gestirne, und die Zwischenzeit zwischen ihren Appulsen durch den Faden DE die Differenz ihrer Rektascensionen. Kennt man nun die Rektascension und Deklination des einen dieser Gestirne, so erhält man dadurch auch sofort die Rektascension und Deklination des anderen.

Den Bogenwert einer Schraubenumdrehung findet man am einfachsten dadurch, daß man die Deklinationsdifferenz zweier bekannter Sterne mißt. Gesetzt z. B. dieselbe wäre gerade $16' = 960''$ und es wären 20·25 Schraubenumdrehungen nötig gewesen, um den Faden fg von dem einen Stern auf den anderen zu bringen, so folgt daraus als Wert für eine ganze Schrauben-

umdrehung $960 : 20{\cdot}25 = 47{\cdot}41''$. Zu derartigen Bestimmungen von Schraubenrevolutionen eignen sich besonders einige helle, bereits wiederholt sehr sorgfältig durchgemessene Sterngruppen, wie die Plejaden, die Krippe u. dgl., in denen die gegenseitige Position vieler Sterne aufs schärfste ermittelt ist.

§ 39. (Positionsmikrometer.) Die Lage eines Gestirnes gegen ein anderes kann man außer durch den Unterschied ihrer Rektascension und Deklination auch durch ihre Distanz und den bei Gelegenheit der Doppelsterne (II, § 186) erwähnten Positionswinkel angeben. Sind in Fig. 142 S und S′ die beiden Gestirne, so drückt der Bogen SS′ ihre gegenseitige Distanz aus, und wenn man sich durch einen der zwei Sterne, etwa S, den Deklinationskreis ab gezogen denkt, der über a hinaus zum Nordpole führen soll, so heißt der Winkel aSS′, vom Deklinationskreise aS über Osten, Süden u. s. w. gezählt, der Positionswinkel des Sterns S′ gegen S.

Fig. 142.

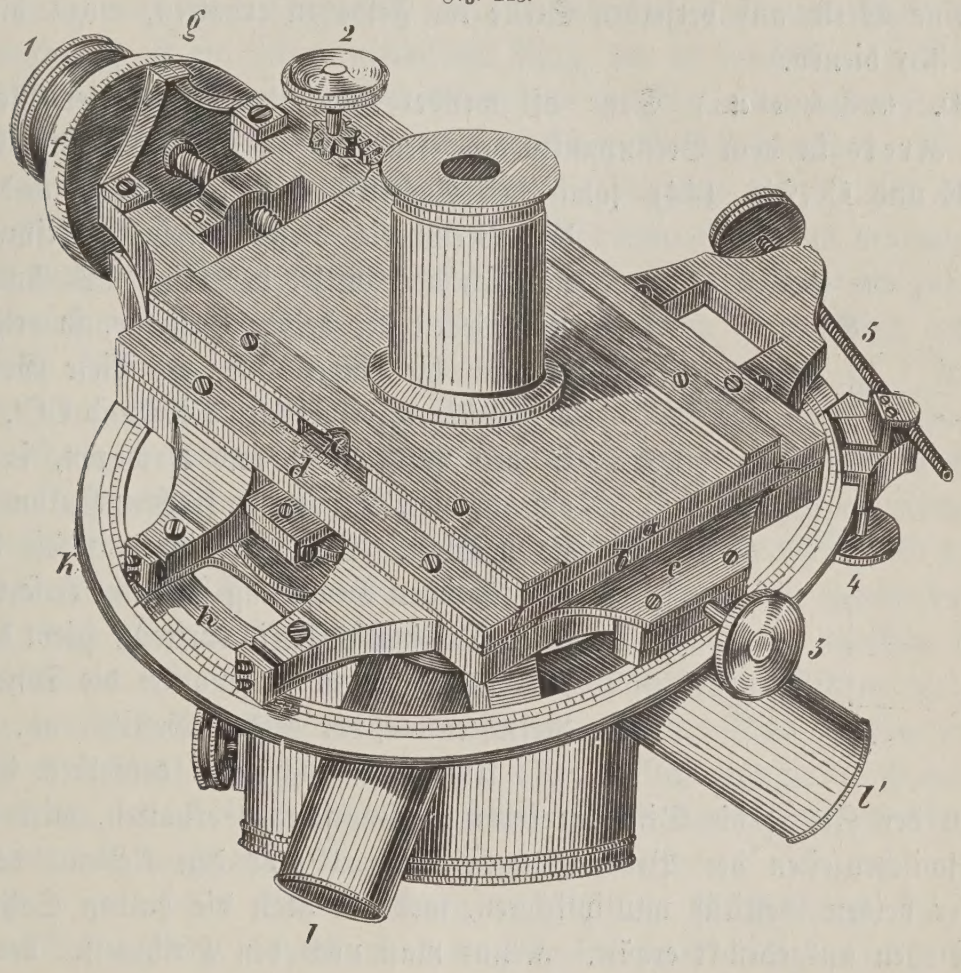


Ein Schraubenmikrometer von der im früheren Paragraphen beschriebenen Beschaffenheit kann sofort zur Messung von Distanzen und Positionswinkeln benutzt werden, wenn es mit einem geteilten Kreise zur Angabe der Positionswinkel versehen wird, dessen Ebene senkrecht auf der optischen Achse des Rohrs steht. Bringt man nämlich den Faden DE des Schraubenmikrometers in Fig. 141 durch Drehung des ganzen Mikrometers in die Richtung der Verbindungslinie cd der beiden Sterne, ferner den fixen Faden FG in derselben Figur auf den einen Stern S und schraubt dann den beweglichen Faden fg vom Sterne S bis zum zweiten S′, so giebt die gemachte Bewegung der Schraube mit Hilfe des bekannten Wertes einer Umdrehung unmittelbar die Distanz SS′ an. Ist ferner, etwa an der Peripherie der Platte BHK, eine Kreisteilung angebracht, auf welcher ein mit dem Fernrohre fest verbundener Nonius den Winkel ablesen läßt, um den das Mikrometer gedreht wurde, so kann man mit dieser Vorrichtung auch den Positionswinkel finden. Man bringt nämlich zuerst den Faden DE in die Richtung des Deklinationskreises aS, oder, was dasselbe ist, man stellt den darauf senkrechten Faden FG parallel zum Äquator, liest die Teilung des Mikrometerkreises ab, dreht dann die ganze Vorrichtung, bis der Faden DE in die Verbindungslinie cd fällt, und liest wieder ab. Die Differenz beider Lesungen giebt den Positionswinkel.

Fig. 143 stellt ein Positionsmikrometer nach Fraunhofer's Konstruktion vor. Der mit 1 bezeichnete Schraubenkopf gehört der Schraube an, die den beweglichen Faden verschiebt und zur Messung der Distanzen dient. Durch Drehung derselben verschieben sich die beiden Platten a und b gemeinschaftlich mit dem Okular und die Anzahl der ganzen Umdrehungen der Schraube erhält

man durch Ablesung der Verschiebung des auf der Platte b befindlichen Index bei e gegen die Teilung d, deren jedes Intervall einem Schraubenumgange entspricht. Die Trommel f an der Schraube 1 ist überdies in 100 gleiche Teile geteilt, so daß man mittels des Index g direkt noch $^1/_{100}$ und durch Schätzung selbst $^1/_{1000}$ eines Schraubengangs finden kann. Betrüge nun z. B. ein ganzer Schraubenumgang nahe 25″, so ist der tausendste Teil eines Umgangs nur die ungemein kleine Größe von 0,025″.

Fig. 143.



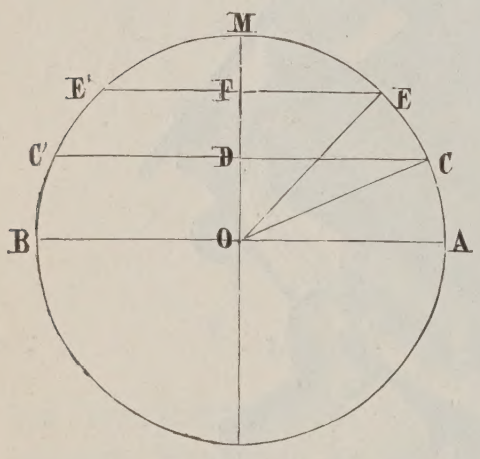
Die Kurbel 2 erlaubt das Okular mit der obersten Platte a allein zu verschieben, wodurch an der Stellung der Fäden nichts geändert, sondern nur das Okular vor verschiedene Teile des Gesichtsfeldes gebracht wird. Die Schraube 3 bewegt die dünne Platte c, an welcher der fixe Faden angebracht ist. Zur Messung der Positionswinkel dient der Kreis k, auf welchem sich der Nonius h verschiebt, sobald das ganze System von Platten mit dem Okular und den Fäden um die optische Achse des Fernrohrs gedreht wird. Die Schraube 4 ist eine Klemmschraube sowie 5 die zugehörige Mikrometerschraube zur Hervorbringung feiner Bewegungen im Sinne des Positionswinkels. l und l′ endlich sind Röhren zur Aufnahme von kleinen Lampen, die zur Beleuchtung der Fäden

im Gesichtsfelde dienen. Durch diese Lämpchen werden die Fäden von vorn erleuchtet, so daß sie als lichte Linien erscheinen und das Feld dunkel bleibt, was bei sehr lichtschwachen Gestirnen nötig ist. Bei den bisher erwähnten Beleuchtungsarten von Fäden wird das Licht der dazu bestimmten Lampen von rückwärts auf die Fäden geleitet, daher das ganze Feld licht wird und nur die Fäden als schwarze Linien sich davon abheben, wobei also bloß lichtstarke Objekte beobachtet werden können.

Messungen mit dem Positionsmikrometer setzen die Möglichkeit voraus, das Gestirn eine Weile auf derselben Stelle im Felde zu erhalten, wozu die Triebwerke (§ 35) dienen.

§ 40. (Kreismikrometer.) Sehr oft wendet man als Mikrometer bloß einen einfachen Kreis in dem Brennpunkte des Fernrohrs an und beobachtet den Eintritt in E und C (Fig. 144), sowie den Austritt der Sterne in E' und C' aus der Peripherie dieses Kreises. Nimmt man nämlich das Mittel der Ein- und Austrittszeit eines jeden der beiden Gestirne, so erhält man dadurch die Augenblicke, wo diese Gestirne in der Mitte ihrer Sehnen EE' und CC', nämlich in den Punkten D und F waren, in welchen ein auf diese Sehnen senkrechter Halbmesser OM sie halbiert. Da nun eine auf die Richtung der täglichen Bewegung senkrecht errichtete Linie einen Deklinationskreis vorstellt, giebt die Differenz dieser beiden Augenblicke die Differenz der Rektascension der beiden Gestirne an.

Fig. 144.



Um nun auch aus denselben Ein- und Austritten der Sterne die Differenz ihrer Deklination zu erhalten, wird man die halben Zwischenzeiten der Beobachtungen durch 15mal den Kosinus der Deklination der beiden Gestirne multiplizieren, wodurch man die halben Sehnen CD, EF in Bogen ausgedrückt erhält. Kennt man noch den Halbmesser des Kreises, so sind in den rechtwinkligen Dreiecken CDO und EFO zwei Seiten gegeben, woraus man dann auf die bekannte Art auch die dritten Seiten OE und OD findet, deren Differenz OF gleich der gesuchten Differenz der Deklination der beiden Gestirne ist.

Den Halbmesser des Kreises kann man auf mehr als eine Art leicht bestimmen: am einfachsten, indem man einen dem Äquator sehr nahen Stern durch den Mittelpunkt des Mikrometers bei festgestelltem Rohre gehen läßt und die Sternzeit zwischen Ein- und Austritt des Sternes in Bogen verwandelt; am sichersten aber mittelst einer kleinen Rechnung durch zwei Fixsterne, deren Deklinations-Differenz Δ nahe gleich dem Durchmesser dieses Kreises ist, so daß also jeder derselben, der eine oben und der andere unten, eine sehr kleine Sehne

im Felde des Kreismikrometers beschreibt. Hat man aber einmal den Halbmesser bestimmt, so muß man dafür Sorge tragen, daß das Mikrometer immer in derselben Entfernung vom Objekte bleibt, weil mit dieser Entfernung der Wert des Halbmessers sich ändert. Es ist deshalb bei Instrumenten dieser Art die Einstellung des Okulars auf das Auge unabhängig von dem Mikrometer, sie kann also, ohne dieses zu verrücken, vorgenommen werden.

Als solches Mikrometer kann man schon die dem Auge nächste innere Blendung (Diaphragma) benützen, die in jedem Fernrohre angebracht ist, wenn man sie zuvor auf einer Drehbank genau kreisförmig ausdrehen läßt. Bequemer zur Beobachtung ist ein feiner metallener Ring, der in der Ebene jener Blendung durch Stifte oder eine durchbrochene Glasplatte befestigt wird und, wenn er etwas kleiner als die Öffnung dieser Blendung ist, den Vorteil gewährt, daß man die kommenden Sterne schon vor der Beobachtung sehen und den Eintritt sowohl als auch den Austritt derselben an den beiden Rändern des Rings beobachten kann. Die vorhergehende Bestimmung des Halbmessers wird zugleich ein gutes Mittel geben, zu prüfen, ob der Ring an seinen beiden Seiten in der That vollkommen kreisförmig, also zu dieser Art von Beobachtungen geeignet ist. Zu diesem Zweck darf man ihn nur nach jeder Beobachtung eines Sternpaars etwas weniges in seiner Ebene drehen und die beiden Sterne an anderen Punkten der Peripherie durchgehen lassen und zusehen, ob man für den Halbmesser des Rings wieder denselben Wert erhält. Was dieses einfache Mikrometer empfiehlt, ist erstens der Umstand, daß unsere Künstler einen vollkommenen Kreis sehr genau darzustellen vermögen, daß zweitens die Beobachtungen an ihm auch im dunkeln Fernrohre angestellt werden können, während die früher beschriebenen Mikrometer eine Beleuchtung des Innern des Fernrohrs erfordern, um ihre Fäden sichtbar zu machen, und daß es drittens auch an einem nicht parallaktisch montierten Fernrohre verwendet werden kann: es ist daher für Liebhaber der Sternkunde, die sich kostbare Instrumente nicht anschaffen können, besonders geeignet.

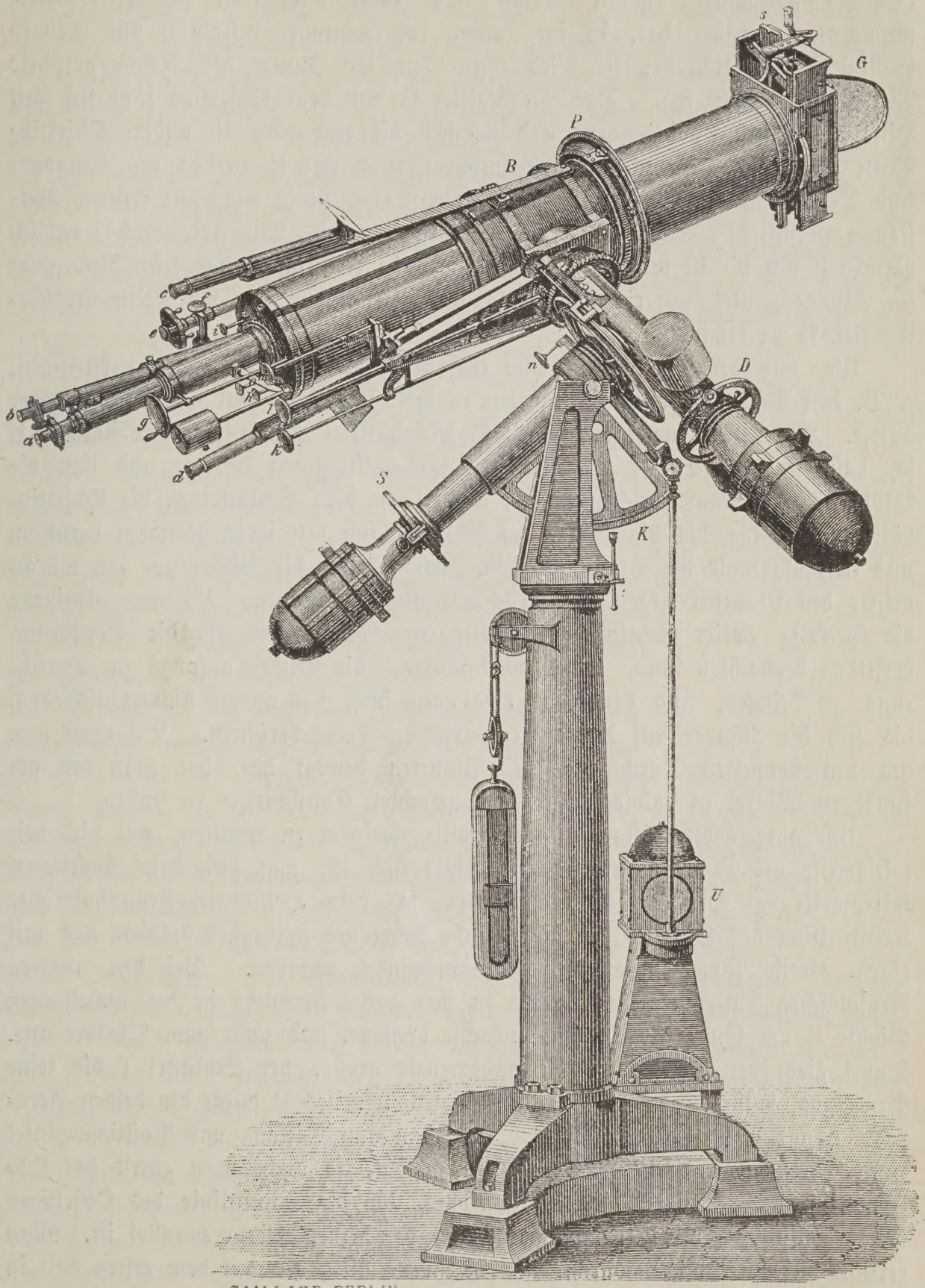
§ 41. (Heliometer.) Von den eben beschriebenen Mikrometern, die man als Okular-Mikrometer bezeichnet, dem Prinzipe nach völlig verschieden ist das Heliometer. Der Konstruktion desselben liegt folgender Gedanke zu Grunde.

So wie das Objektiv eines Fernrohrs ein Bild jedes leuchtenden Objektes liefert, so würde man durch Nebeneinanderstellen zweier Objektive von gleicher Brennweite zwei gleich große Bilder des Gegenstandes erhalten, die um so weiter entfernt wären, je größer der Winkel zwischen den optischen Achsen beider Objektive gemacht wird. Bouguer wendete zuerst ein ähnliches Instrument, ein mit zwei Objektiven versehenes Fernrohr, zu Messungen des Sonnendurchmessers an, obwohl bereits einige Jahre vorher der Engländer Servington Savery die Konstruktion eines derartigen Instrumentes vorgeschlagen hatte, was aber ganz unbeachtet geblieben war. Ein schwerwiegender Nachteil dieser Einrichtung ist aber unter anderem auch der, daß man, um die Bilder einander möglichst nahe bringen

zu können, sehr kleine Objektive nehmen muß. Dollond faßte die glückliche, wie es scheint, zuerst von dem französischen Seeoffizier de Charnières im Jahre 1767 angeregte Idee, eine Linse mittelst eines Schnittes durch ihre optische Achse in zwei Hälften zu teilen und durch Verschiebung der beiden Hälften parallel zu ihrem Durchschnitte zwei Bilder zu erzeugen, die ziemlich weit von einander entfernt, aber auch beliebig genähert, ja sogar zur Deckung gebracht werden konnten. Er wandte zu diesem Zwecke eine konkave Linse von sehr großem Krümmungshalbmesser an; jede der zwei Linsenhälften war in einer besonderen Fassung und konnte unabhängig von der anderen durch eine kleine Kurbel verschoben werden; zugleich war eine Teilung in dem Instrumente angebracht, welche die Größe der Verschiebung zu messen erlaubte. Diese ganze Vorrichtung wurde dann vor dem Objektive eines Fernrohrs aufgesteckt, weshalb man ihr auch den Namen Objektivmikrometer gab; eine Benennung, welche, wie Hansen richtig bemerkt, auch für die späteren, etwas abgeänderten Mikrometer dieser Art hätte beibehalten werden sollen, da der jetzt gebräuchliche Name Heliometer nur von einer ganz speziellen Anwendung derselben, nämlich der Messung des scheinbaren Sonnendurchmessers, hergenommen ist.

Durch Dollonds schönen Gedanken war allerdings ein großer Schritt vorwärts geschehen; es war dadurch möglich geworden, selbst Fernrohre von bedeutenden Öffnungen mit solchen Mikrometern zu versehen und auch die kleinsten Winkel mit Sicherheit zu messen. Aber andererseits ward, sonstiger Nachteile und Mängel nicht zu gedenken, durch das Hinzutreten der geteilten Konkavlinse die Zahl der brechenden und reflektierenden Flächen des Fernrohrs um zwei vermehrt, was einen keineswegs geringen Lichtverlust zur Folge hat. Um diesem Übelstande abzuhelfen, wagte sich Fraunhofer an ein Zerschneiden des Objektives selbst, eine mit großen mechanischen Schwierigkeiten verbundene Operation, da der Vollkommenheit der Gestalt des Objektivs, von welcher doch vorzugsweise die Schärfe des Bildes im Fernrohre abhängt, dadurch nicht der mindeste Eintrag geschehen darf. Fraunhofer hat zugleich zur Verschiebung der Objektivhälften sehr feine, mit der höchsten Sorgfalt gearbeitete Mikrometerschrauben angewandt, ähnlich denen bei Positionsmikrometern, und so das Heliometer zu einem der schärfsten Meßapparate für Winkel bis auf etwa 1° erhoben. Doch auch die Fraunhofersche Konstruktion litt noch an manchen, zum Teil wesentlichen Mängeln, welche wegzuschaffen erst den Bemühungen der Repsolds in Hamburg gelang. Fig. 145 zeigt nun eines jener Heliometer, welche die ebengenannten Künstler zur Beobachtung des Venusdurchgangs im Jahre 1874 für die russischen Expeditionen konstruierten, weshalb auch die Polarachse des Instruments mittels des Kreissegments K verstellbar eingerichtet ist, um es in verschiedenen geographischen Breiten als Äquatorial benützen zu können. Die Schiebervorrichtung s, mittelst welcher die beiden Hälften des Objektivs parallel zu ihrer Schnittfläche gegen einander verschoben werden, ist in der Figur nur zum Teile

Fig. 145.



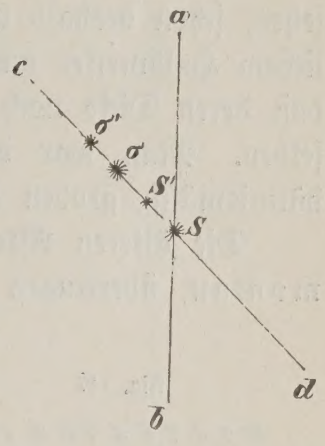
sichtbar; auch die Skala, welche Repsold zur Messung der Verschiebung der beiden Objektivhälften gegen einander sehr zweckmäßig statt der Mikrometerschrauben eingeführt hat, ist im Innern des Fernrohrs befindlich und deshalb ebenfalls nicht sichtbar: sie wird durch das ins Innere des Rohrs geführte Mikroskop b abgelesen. Das Drahtgitter G vor dem Objektive läßt sich mit Hilfe des Schlüssels i drehen, und dadurch die eine oder die andere Objektivhälfte abblenden. Durch die Klemmschrauben n und k werden der Stunden- und Deklinationskreis geklemmt und hierauf noch nötig werdende kleinere Verstellungen mit den Schlüsseln l und m vorgenommen. Das Triebwerk U endlich vermittelt auf die in der Figur leicht ersichtliche Art eine stetige feine Bewegung im Stundenwinkel, um ein Gestirn längere Zeit hindurch in der Mitte des Gesichtsfeldes zu erhalten.

Um mit dem Heliometer eine einfache Winkelmessung zu bewerkstelligen, z. B. den Durchmesser eines Planeten zu bestimmen, verfährt man in folgender Weise. Man stellt zuerst die beiden Objektivhälften mit Hilfe des Schlüssels g so, daß die zwei Bilder des Planeten sich vollkommen decken, und liest die Skala ab. Hierauf verschiebt man, wieder mit dem Schlüssel g, die Objektivhälften so lange, bis die Bilder des Planeten sich mit ihren Rändern berühren und liest abermals die Skala ab. Man hat dadurch die Bilder um den Durchmesser des Planeten gegen ihre erste Stellung verschoben. Da man übrigens die Deckung zweier Scheiben mit geringerer Genauigkeit als die Berührung derselben beobachten kann, ist es zweckmäßiger, die Bilder anfangs zur Berührung zu bringen, und dann das eine ganz über das andere hinwegzuschieben, bis sich die Ränder auf der entgegengesetzten Seite berühren. Da man nun um den doppelten Durchmesser des Planeten bewegt hat, hat man den gefundenen Winkel zu halbieren, um den gesuchten Durchmesser zu finden.

Um aber nebst Distanzen auch Positionswinkel zu erhalten, wie dies beispielsweise bei Doppelsternmessungen erforderlich ist, war (wie beim Positionsmikrometer das Okular samt den Platten, so) beim Heliometer Fraunhoferscher Konstruktion das Objektiv um die optische Achse des Fernrohrs drehbar und mit einem Kreise zum Ablesen der Positionswinkel versehen. Bei den neueren Repsoldschen Instrumenten hingegen ist das ganze Fernrohr in der gußeisernen Büchse B am Ende der Deklinationsachse drehbar, und zwar vom Okulare aus. Dabei giebt der Schlüssel e die unbegrenzte grobe, der Schlüssel f die feine Bewegung, während die Ablesung des Positionskreises P durch die beiden Fernrohre c und d bewerkstelligt wird. Hat man nun Distanz und Positionswinkel eines Sternenpaares SS' (Fig. 146) zu messen, so dreht man zuerst das Objektiv um die optische Achse des Fernrohrs, bis die Schnittlinie des Objektives mit der Richtung der Verbindungslinie cd der beiden Sterne parallel ist. Man erkennt diese Stellung dadurch, daß das zweite Bild σσ' mit dem ersten SS' in dieselbe gerade Linie fällt. Ist dies geschehen, so verschiebt man das Bild σσ'

so weit gegen das erste, bis die Sterne SS', σσ' in gleichen Distanzen von einander erscheinen, wodurch man bei Ablesung der Skala offenbar die doppelte Distanz der beiden Sterne erhält. Zeigt der Positionskreis genau auf Null, wenn die Schnittlinie des Objektivs parallel zur Richtung des Deklinationskreises ab des Sternes S ist, so erlaubt der Kreis unmittelbar Positionswinkel abzulesen. Ob aber der Nullpunkt des Kreises in der That genau an der hier angenommenen Stelle stehe, und wenn dies nicht der Fall wäre, wie groß die Abweichung sei, findet man auf folgende Art. Man denke sich im Gesichtsfelde des Fernrohrs zwei auf einander senkrechte Fäden gespannt, die durch ihren Durchschnittspunkt einen Punkt im Felde bestimmen. Man stelle die Objektivhälften um ein ziemlich bedeutendes Stück aus einander und suche durch geeignete Bewegung im Sinne des Stundenwinkels und der Deklination, sowie durch gehörige Drehung des Objektives im Sinne des Positionskreises das Fernrohr in eine solche Stellung zu bringen, daß die beiden Bilder desselben Sternes durch eine bloße Deklinationsbewegung des Fernrohrs successive in den Durchkreuzungspunkt der Fäden gelangen. Ist dies erreicht, so steht die Schnittlinie des Objektivs parallel zum Deklinationskreise, und in dieser Lage soll der Positionskreis Null zeigen. Ist dies nicht der Fall, so ist der Unterschied unmittelbar der Inderfehler des Positionskreises.

Fig. 146.



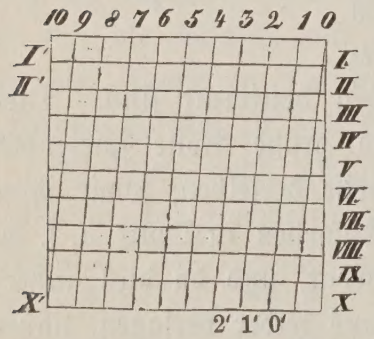
Wir hätten jetzt noch eine Reihe von Instrumenten zu besprechen, welche nicht für Ortsbestimmungen der Gestirne, sondern für andere astronomische Untersuchungen bestimmt sind. Dies wären zunächst die in der neueren Astronomie eine so große Rolle spielenden Spektralapparate. Allein die Erklärung der Wirkungsweise derselben, sowie ihrer Rektifikation und Behandlung, wäre ohne ein tieferes Eingehen in Optik u. s. w. auch nur in halbwegs befriedigender Weise nicht ausführbar, und da dies außerhalb des Rahmens unseres Werkes liegt, müssen wir uns leider versagen, näher darauf einzugehen. Das Gleiche gilt auch von den zum Photographieren der Himmelskörper angewendeten Fernrohren; auch hier wäre eine Beschreibung ꝛc. derselben ohne näheres Eingehen auf die Technik der Photographie überhaupt ohne Nutzen. In Bezug auf diese Instrumente, sowie Ausführlicheres über andere in den früheren Paragraphen eben nur berührte Nebenvorrichtungen, deren der heutige Astronom zu seinen Beobachtungen bedarf, müssen wir daher unsere geehrten Leser auf Spezialwerke verweisen, wie unter Anderem auf R. v. Konkolys praktische Anleitung zur Anstellung astronomischer Beobachtungen mit besonderer Rücksicht auf die Astrophysik, welche eine sehr vollständige, durch zahlreiche treffliche Holzschnitte erläuterte, und mit vielen historischen Notizen versehene Zusammenstellung aller Instrumente der neueren Astronomie enthält.

§ 42. (Transversalen, Vernier, Ablesemikroskop.) Zum Abschlusse unseres Überblickes über die wichtigsten Instrumente, welche in unserer Zeit zur Bestimmung der Positionen der Gestirne und der Dimensionen der Planetenscheiben dienen, wollen wir noch mit ein paar Worten einiger Hilfsapparate gedenken, mittelst deren man auch kleinere Winkelgrößen ablesen kann, als die Teilungen der Kreise unmittelbar ergeben.

Wenn die Alhidade, d. h. der mit dem Fernrohre eines Instruments verbundene, längs des Limbus oder der eigentlichen Teilung hingleitende Teil bloß eine einzige gerade Linie als Index oder Zeiger enthielte, so könnte man mit einem solchen Instrumente keine kleineren Winkel messen, als unmittelbar durch die Teilstriche des Limbus gegeben sind. Man müßte also, wollte man auf einem Kreise noch die einzelnen Sekunden lesen, auf seiner Peripherie nicht weniger als 1,296 000 Striche anbringen, was aber, von allem anderen abgesehen, schon deshalb unausführbar ist, weil selbst bei einem Kreise von beträchtlichem Halbmesser auch die feinsten Striche so nahe an einander fallen würden, daß deren Dicke noch immer bedeutender wäre als das Intervall zwischen denselben. Man war deshalb von jeher auf Mittel bedacht, um auch mit verhältnismäßig groben Teilungen feine Messungen anstellen zu können.

Die älteren Astronomen, zuerst, so viel bekannt, Purbach und Regiomontan, übertrugen zu diesem Behufe die bei geradlinigen Maßstäben sehr bequemen sogenannten Transversalen auf Kreisteilungen. Will man nämlich kleinere Teile einer Geraden von bestimmter Länge meßbar machen, als sich durch deren unmittelbare Teilung gut erreichen läßt, so errichtet man bekanntlich auf den Endpunkten 0 und 10 (Fig. 147) Senkrechte 0,X und 10,X′ von beliebiger Länge, teilt diese Senkrechten in gleiche Teile 0,I; I,II . . ., zieht durch die Teilpunkte Parallelen I,I′; II, II′ . . . zur ursprünglichen Linie 0,10; teilt ferner die letzte Parallele X,X′ in eben so viele gleiche Teile wie 0,10, und verbindet nach der Reihe die Teilungspunkte, 0,1,2 . . . der 0,10 mit den Teilpunkten 0′,1′,2′, . . . der X,X′. Die Anzahl Teilungspunkte der Senkrechten multiplizirt mit der Anzahl Teilungen der ursprünglichen Geraden giebt dann den Nenner des Teiles der ursprünglichen Linie, den man nun noch erkennen kann. So läßt unsere Zeichnung, in welcher 3 cm in 10 Teile geteilt waren, die Senkrechten aber wieder 10 Teile enthalten, noch den hundertsten Teil von 3 cm, also 0·3 mm erkennen, und es ist in den Dreiecken an der Linie 0,I,II . . . die Basis I des ersten Dreiecks 0·3 mm, die Basis II des zweiten $2 \times 0{\cdot}3 = 0{\cdot}6$ mm u. s. w., während jede der horizontalen Seiten der kleinen Rhomboide im Innern des Netzes 3 mm = 0·3 cm vorstellt. Hätte man also z. B. mit dem Zirkel

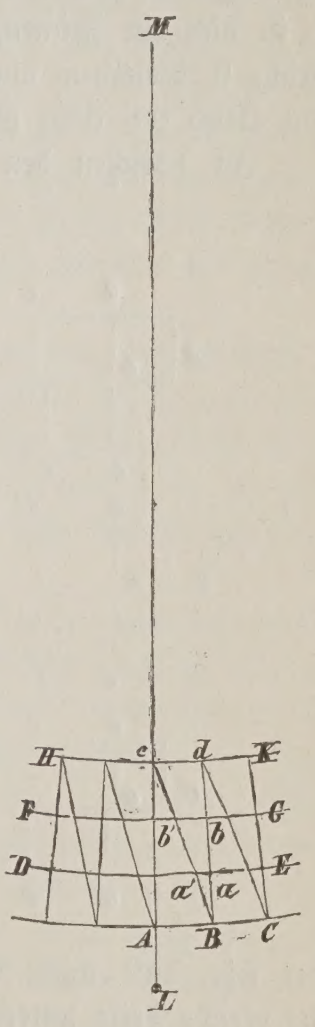
Fig. 147



eine Linie abgestochen, die auf diesen Maßstab übertragen vom Durchschnitte der 1,1′ mit der II,II′ bis II reichte, so hätte die zu messende Linie $3 + 0{\cdot}6 = 3{\cdot}6$ mm.

Wollte man mit den Alten diese Transversalen auf Kreisteilungen anwenden, so müßte man Fig. 148 zu dem eigentlichen und ursprünglich in den Punkten A,B,C . . . . geteilten Kreise in gleichen Entfernungen konzentrische Kreise DE,FG . . . verzeichnen, durch die Punkte A,B,C . . . zu dem gemeinschaftlichen Mittelpunkte M Halbmesser Ac, Bd . . . führen, und in den so entstehenden Vierecken ABdc, BCKd die Diagonalen ziehen. Insofern man berechtigt ist, die Bogen AB,BC . . ., cd,dK . . . als gerade Linien und die Radien Ac,Bd . . . als einander parallel anzusehen, (was freilich nur annähernd wahr) wird wieder wie oben jede der Diagonalen an den konzentrischen Kreisen DE,FG . . . die so vielten Teile der Intervalle AB,BC . . . erkennen lassen, als konzentrische Kreise zu ABC gezogen wurden. Es wird also z. B. in unserer Zeichnung, wenn AB eine Minute war, die Linie zwischen a und a′, $^1/_3{}'$ oder 20″, ebenso b b′ 40″ gelten. Denkt man sich unter ML ein aus dem Mittelpunkte M des Kreises herabhängendes Lot, so ist man, wenn bei der Drehung des Kreises dieses Lot auf verschiedene Punkte der Teilung einspielt, imstande, die mit demselben zu messenden Winkel auf 20″, ja durch Schätzung wohl noch genauer anzugeben. Immer aber häufen sich auch hier die Striche noch zu sehr, und vor allem ist die eben berührte Annahme, daß die Bogen AB, cd . . . gerade, und die Linien Ac, Bd . . . einander parallel seien, ein Übelstand, dem nach R. Wolf Peter Vernier, ein belgischer Kastellan zu Ornans und Generalmünzdirektor von Burgund, im Jahre 1631 durch eine ebenso einfache als sinnreiche Vorrichtung abzuhelfen suchte, die jetzt ihrer Vorzüglichkeit wegen allgemein angenommen ist. Man hat wohl auch den Portugiesen Nuñez (latinisiert Nonius), der mehrere Jahrhunderte vor Vernier lebte, für den Erfinder dieser Einrichtung gehalten, daher dieselbe auch häufig den Namen des Letzteren erhält, aber mit Unrecht, da das von Nonius zu diesem Zwecke vorgeschlagene Mittel von dem des Vernier verschieden ist und ihm auch an Anwendbarkeit weit zurücksteht.

Fig. 148.

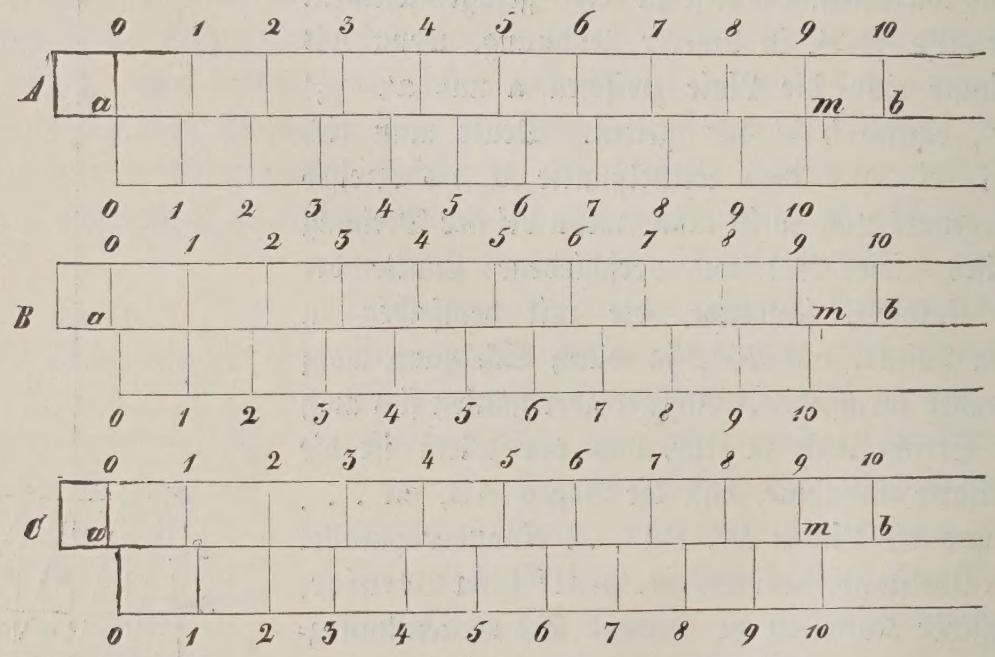


Sei ab Fig. 149 ein Teil eines Maßstabes, der bei 1, 2, 3 . . . in Dezimeter geteilt ist. Mit einem solchen Maßstabe kann man also unmittelbar nur ganze Dezimeter messen, während man die Zentimeter bloß nach dem Augenmaße schätzen muß. Wenn man aber zu diesem Maßstabe noch einen Vernier hat,

der genau 9 dcm lang, aber ebenfalls in 10 gleiche Teile geteilt ist, so kann man mittels jenes Stabes auch noch die Zehnteile der Dezimeter oder die Zentimeter unmittelbar abmessen. Denn gesetzt, man wollte den Abstand der Linie m von b in Zentimetern haben, so lege man den Vernier zunächst so wie in A, daß die Teilstriche 9 des Stabes und 10 des Vernier koinzidieren und rücke ihn dann an dem ruhenden Maßstabe über die beiden Teilstriche 1 und 1 so weit nach rechts, bis der letzte Teilstrich 10 des Vernier mit dem Striche m des Maßstabes genau übereinstimmt. Findet man, daß in dieser Stellung C des Vernier die Teilstriche 2 und 2 genau koinzidieren oder in eine einzige gerade Linie fallen, so ist dies ein Zeichen, daß die Linie m des Maßstabes von dem vorletzten Teilstriche 9 desselben um 2 Zehnteile absteht, und daß daher die gesuchte Distanz bm gleich 0·8 dcm oder 8 cm ist.

Ist zwischen den einzelnen Teilstrichen des Vernier, wie in der Zeichnung

Fig. 149.



der Fig. 149 noch Raum genug, um jedes Intervall desselben nochmals in 10 gleiche Teile unterzuteilen, so kann man mit einem solchen Vernier auf jenem Maßstabe nicht bloß die zehnten, sondern sogar die hundertsten Teile eines Dezimeters oder die Millimeter unmittelbar messen. Rücken aber dadurch die Teilstriche schon so nahe an einander, daß man sie mit freien Augen nicht mehr gut unterscheiden kann, so wird man eine Lupe zu Hilfe nehmen und an dem Vernier befestigen, um sie nach der ganzen Länge des Verniers zu verschieben und dadurch jeden einzelnen Teil desselben in den Mittelpunkt des Lupenfeldes zu bringen.

Dieselbe Vorrichtung läßt sich auch ohne alle Abänderung auf Kreisbogen anwenden. Sei nämlich jetzt ab (Fig. 149) ein Teil eines Kreises an irgend

einem Instrumente, und derselbe durch die in der Zeichnung bemerkten Striche in mehrere gleiche Teile geteilt, deren jeder 10′ betrage. Unter ihm sei der konzentrische Kreisbogen des Verniers angebracht, so daß, wenn die ihn tragende Alhidade um ihren Mittelpunkt bewegt wird, der Bogen des Verniers an dem festen Bogen des Kreises sich auf und ab bewegt. Allein der Bogen des Verniers sei nur so groß, als 9 Intervalle des oberen Kreisbogens sind, er betrage also nur 9×10 oder 90′ und sei wieder, wie jener, in 10 gleiche Teile geteilt. Daraus folgt, daß jedes Intervall des Verniers, auf dem Kreise genommen, nur 9′ ist. Legt man daher den Vernier an den Kreis so an, daß die beiden ersten Teilstriche 0 und 0 mit einander übereinstimmen oder nur eine einzige gerade Linie bilden, so werden auch die beiden letzten Teilstriche 9 und 10 mit einander übereinstimmen, die zweiten 1 und 1 aber um 1′, die 2 und 2 um 2′, die 3 und 3 um 3′ u. s. w. von einander abstehen, und man wird daher auf diesem Kreise, obschon er nur von 10′ zu 10′ geteilt ist, doch mit Hilfe dieses Vernier noch die einzelne Minute sicher und ebenso gut ablesen können, als ob der Kreis selbst in diese einzelnen Minuten geteilt wäre.

Gesetzt nun, Kreis und Vernier stehen wie in A, so daß der Teilstrich 0 des Kreises zu dem Punkte 10° 0′ der Peripherie desselben gehöre, so wird man bei der Ablesung dieses Kreises sagen, daß der an dem Instrumente beobachtete Winkel 10° 0′ betrage. Steht aber der Vernier so wie in B, so wird der beobachtete Winkel 10° 1′, bei dem Stande C 10° 2′ sein, und so fort durch alle Teilstriche des Vernier.

Endlich wird man denselben Zweck wie mit dem Vernier auch mit einem Mikroskope erreichen, das eine ähnliche Einrichtung, wie das oben (§ 38) beschriebene Schrauben-Mikrometer hat. Wie man nämlich dort durch den beweglichen Faden des Okulars die Distanz zweier Sterne oder eigentlich der durch das Objektiv erzeugten Bilder maß, ganz ebenso wird man mit einer solchen Vorrichtung den Raum messen können, der zwischen einem Teilstriche 9 des Limbus und dem Orte m des Index liegt; dieser Raum, zu der Zahl des Teilstriches 9 hinzugegeben, wird den Ort des Index genau bezeichnen. Man sieht, daß der Index nur ein einfacher Strich zu sein braucht und alle fernere Teilung außer der ursprünglichen des Limbus wegfällt. Dieser Umstand, verbunden mit der großen Genauigkeit, mit der man heutzutage Mikrometerschrauben schneiden kann, bringt es mit sich, daß man mit einem Mikroskope nicht nur bequemer, sondern auch weit kleinere Unterabteilungen der Hauptteilung ablesen kann, als mit dem Vernier: es hat daher das Ablesemikroskop in den letzten Decennien an allen Instrumenten, mit denen man große Schärfe erlangen will, den Vernier verdrängt.

§ 43. (Längenbestimmungen durch Sternschnuppen, Pulversignale und Finsternisse.) Wir haben im Vorhergehenden mehrere Methoden kennen gelernt, mittelst deren man die geographische Breite oder die Polhöhe seines Beobachtungsortes und die Richtung

des Meridians, oder was auf dasselbe hinauskommt, das Azimut eines terrestrischen Objektes finden kann. Es erübrigt uns nun noch anzugeben, wie man die geographische Länge bestimmt, dieses wichtige Element, ohne welches wir nicht wüßten, welchen Punkt der Oberfläche der Erde, oder wenigstens, welchen Punkt unseres irdischen Parallelkreises wir bewohnen.

Unter geographischer Länge versteht man (Einl., § 12) bekanntlich die Winkeldifferenz zwischen dem durch den Beobachtungsort gehenden Meridian der Erde und einem als Anfangspunkt der Zählung gewählten, wofür man heutzutage fast ausschließlich den durch die Sternwarte von Greenwich gezogenen Meridian annimmt. Diese Differenz mißt man am einfachsten durch die Rotation der Erde: sie ist nämlich (I, §§ 18, 99), wie man leicht erkennt, nichts anderes als der in einem bestimmten Augenblicke stattfindende Unterschied der Ortszeiten von Greenwich und dem Beobachtungsorte, woraus sofort auch noch folgt, daß der Unterschied der geographischen Längen zweier beliebiger Orte der Differenz ihrer Ortszeiten gleich ist.

Bei Längenbestimmungen kommt es daher nur darauf an, eine Erscheinung aufzufinden, die von Allen, denen sie überhaupt bemerkbar ist, in demselben Augenblicke gesehen wird, d. h. die tautochron ist, da man bloß zu wissen braucht, wie viel jeder von den Beobachtern in diesem Augenblicke an seiner richtig gehenden Uhr zählt, d. h. welche wahre oder mittlere Sonnenzeit oder auch welche Sternzeit er in diesem Augenblicke hat; denn die Differenz dieser Zeiten ist zugleich die Differenz der gesuchten Längen beider Orte.

Man beobachtete zu diesem Behufe im Anfange unseres Jahrhunderts eine Zeit lang Sternschnuppen oder erzeugte sich künstlich tautochrone Erscheinungen, indem man auf Punkten, die von den zu bestimmenden Stationen sichtbar sind, zu vorausbestimmten Zeiten Pulversignale gab, deren Aufblitzen für alle Beobachter zu gleicher Zeit statt hat.

Tautochrone Erscheinungen am Himmel sind zunächst die sogenannten physischen Finsternisse, worunter vor allen die Verfinsterungen unseres Mondes zu zählen sind. Diese entstehen nämlich (I, § 100) dadurch, daß die für uns ganz beleuchtete Mondscheibe zur Zeit des Vollmonds in den Schattenkegel tritt, welchen die Erde hinter sich wirft, wodurch der Mond seines bloß von der Sonne geborgten Lichtes beraubt wird. Seine Verdunklung muß daher von allen Bewohnern der Erde, die den Mond überhaupt zur Zeit der Finsternis sehen, in demselben Augenblicke gesehen werden, so daß also nur jeder diesen Augenblick an der richtig nach seiner Ortszeit gehenden Uhr angeben darf, um sofort die Längendifferenz zu erhalten.

Genau ebenso wie unsere Mondfinsternisse, sind auch die Verfinsterungen der Satelliten der anderen Planeten, z. B. die der Trabanten Jupiters tautochrone Erscheinungen für alle Bewohner der Erde, und können deshalb ebenfalls unmittelbar zu Längenbestimmungen angewandt werden, wie wir dies bereits

oben (II, § 125) bemerkt haben. Allein, was zunächst die Mondfinsternisse betrifft, so haben sie den Nachteil, daß sie nicht mit hinlänglicher Schärfe beobachtet werden können, da der Schattenkegel der Erde wegen des ihn umgebenden Halbschattens, nur sehr unvollkommen begrenzt ist, was zur Folge hat, daß man den eigentlichen Anfang oder das Ende der Finsternis nie mit Gewißheit angeben kann. Kurz vor dem Anfange der Finsternis wird nämlich der Ort des Mondrandes, wo sie beginnen soll, vom Halbschatten gleichsam mit einem matten Schleier überzogen, der sich nur langsam näher zu dem Mittelpunkt hinzieht und immer dunkler werdend durch allmähliche Abstufungen das Licht des Mondes mehr und mehr verfinstert, so daß der Augenblick der völligen Verfinsterung nicht genau angegeben werden kann. Ähnliches ist auch von dem Ende der Finsternis zu bemerken. Man hat diesem Umstande dadurch abzuhelfen gesucht, daß man den Ein- und Austritt der Flecken des Mondes in den Schatten beobachtete; aber auch diese Wahrnehmungen leiden, obschon in geringerem Grade, unter derselben Unvollkommenheit. Besser harmonieren allerdings die Beobachtungen der Finsternisse der Jupitersmonde, aber auch sie lassen noch immer viel zu wünschen übrig.

Die optischen Finsternisse, d. h. die Sonnenfinsternisse (I, § 102) sowie die Bedeckungen der Fixsterne vom Monde entstehen, wenn der Mond in seinem Laufe sich zwischen den Beobachter und die Sonne oder den Fixstern stellt und uns daher den Anblick dieser Gestirne raubt oder, wie man zu sagen pflegt, sie verfinstert, bedeckt. Diese Erscheinungen können daher durch die Stellung des Beobachters auf der Erde gar mannigfaltig verändert werden, indem beispielsweise ein östlich stehender Beobachter den Mond noch westlich von einem Sterne sehen kann, während derselbe für einen westlichen Beobachter vom Monde schon bedeckt ist. Diese Erscheinungen sind also nicht tautochron: allein da man die Bewegung des Mondes genau kennt, so ist es leicht, die an der Oberfläche der Erde ausgeführten Beobachtungen durch Rechnung auf diejenige Zeit zu bringen, zu welcher man sie aus dem Mittelpunkt der Erde beobachtet haben würde, und wenn diese Reduktion bei allen Beobachtungen vorgenommen wird, so hat man dann nur wieder die dadurch erhaltenen Ortszeiten von einander zu subtrahieren, um sofort die gesuchten Längendifferenzen der Beobachtungsorte zu gewinnen.

§ 44. (Längenbestimmungen durch Monddistanzen und Mondkulminationen.) Die bisher auseinandergesetzten Methoden der Längenbestimmung leiden an dem Mangel, daß sie entweder wie die beiden erstgenannten nur auf relativ kurze Entfernungen angewendet werden können, oder daß sie wie die übrigen zu selten eintreten, um für den täglichen Gebrauch, namentlich für Seefahrer von allgemeinerem Nutzen sein zu können. Von diesem Mangel ist die Methode der Längenbestimmung durch Monddistanzen frei. Sie wurde hierfür schon von Amerigo Vespucci, und nach ihm von Halley vorgeschlagen: allein selbst zu des letzteren Zeit, zu

Ende des 17. Jahrhunderts, war die Theorie des Mondes noch zu unvollkommen, um sie mit Vorteil gebrauchen zu können; in unseren Tagen hingegen ist dieses Hindernis nicht mehr vorhanden. Das Wesen dieser Methode besteht in Folgendem.

Aus den astronomischen Tafeln kann man den geocentrischen Ort des Mondes, d. h. den Ort, an dem er im Mittelpunkte der Erde erscheint, und aus Sternkatalogen den Ort vieler Fixsterne finden und damit für jede beliebige Zeit den Abstand des Mondes von diesen Sternen berechnen. Solche Distanzen des Mondes, sowohl von etwa 10 bis 12 der größten Fixsterne, als auch von der Sonne und von den großen Planeten, werden auch in der That in den astronomischen Ephemeriden für jeden Tag von 6 zu 6, ja selbst von 3 zu 3 Stunden vorausberechnet und durch den Druck bekannt gemacht, damit die Schiffer sie auf ihren Reisen mit sich nehmen und Längenbestimmungen darauf gründen können. Nehmen wir an, daß man die geocentrische Distanz des Mondes von irgend einem anderen Gestirne, z. B. von der Sonne, für folgende Zeiten durch Rechnung gefunden habe:

	Mittlere Greenwicher Zeit		Geocentr. Distanz ☉☾			Differenz		
18. August	Mitternacht	0^h	24^0	$30'$	$10''$	3^0	$20'$	$30''$
	morgens	6	27	50	40	3	30	45
	mittags	12	31	21	25	3	41	15
	abends	6	35	2	40			

Es habe nun ein Schiffer in dem stillen Ozean zuerst den Fehler seiner Uhr bestimmt und dann, um $7^h\ 3^m\ 40^s$ abends seiner mittleren Ortszeit, mit seinem Sextanten die Distanz des Mittelpunkts der Sonne und des Mondes gleich $28^0\ 30'\ 10''$ beobachtet. Diese Distanz läßt sich aber noch nicht mit den oben angegebenen unmittelbar vergleichen. Denn jene vorausberechneten Distanzen beziehen sich, wie gesagt, auf den Mittelpunkt der Erde, während die hier auf dem Schiffe beobachtete nicht von dem Mittelpunkte, sondern von der Oberfläche der Erde gesehen wurde; man muß daher vorerst die beobachtete Distanz ebenfalls auf den Mittelpunkt der Erde reduzieren. Ohne uns hier dabei aufzuhalten, wie diese ziemlich weitläufige und zeitraubende Reduktion gefunden wird, wollen wir annehmen, daß sie für unseren Fall $0^0\ 12'\ 20''$ betrage, so daß also die beobachtete Distanz, von dem Mittelpunkte der Erde gesehen, gleich $28^0\ 42'\ 30''$ wäre.

Dies vorausgesetzt, fragt es sich nun, wie viel es in Greenwich mittlere Zeit ist, wenn die geocentrische Distanz der Sonne und des Mondes an jenem Tage $28^0\ 42'\ 30''$ beträgt? Dies findet man aber sehr leicht aus der vorhergehenden Tafel, nach welcher die Distanz der beiden Gestirne von 6^h morgens bis Mittag sich um $3^0\ 30'\ 45''$ ändert, während die beobachtete geocentrische Distanz von jener der sechsten Morgenstunde nur um $0^0\ 51'\ 50''$ verschieden ist, durch die Proportion

$$0^0\ 30'\ 45'' : 6^h = 0^0\ 51'\ 50'' : x,$$

woraus folgt, daß $x = 1^h\ 28^m\ 32{\cdot}5^s$ ist, welche Zeit dann, zu 6^h addiert, die gesuchte mittlere Greenwicher Zeit jener Beobachtung $= 7^h\ 28^m\ 32{\cdot}5^s$ giebt. Wir haben demnach

mittlere Schiffszeit . . .	7^h	3^m	$40{\cdot}0^s$	abends
mittlere Greenwicher Zeit .	7	28	32·5	morgens
Differenz	11	35	7·5	

und dies ist die geographische Länge des Schiffs und zwar östlich von Greenwich, da die Ortszeit des Schiffs die größere ist. Drückt man diese Differenz statt in Zeit in Bogenmaß aus, was bekanntlich durch Multiplikation mit 15 (Einl., § 1) bewirkt wird, so erhält man für die Zeit der Beobachtung als östliche Länge des Schiffs von Greenwich $173^\circ\ 46{\cdot}9'$.

Sehr nahe verwandt mit der eben auseinandergesetzten ist die Methode der Längenbestimmung aus Mondkulminationen. Wegen der raschen Bewegung des Mondes ändert sich nämlich nicht nur seine Distanz von Sternen, sondern auch seine Rektascension so schnell, daß auch durch die Beobachtung dieser zu einer bestimmten Ortszeit auf die Greenwicher Zeit, zu welcher sie stattfand, mit genügender Genauigkeit zurückgeschlossen werden kann. Zu diesen Beobachtungen wählt man am einfachsten die Zeit der Kulmination des Mondes, weil diese nicht nur am sichersten mit einem Mittagsrohre bestimmt werden kann (§ 26), sondern auch zugleich die Rektascension des Mondes ist, die unmittelbar mit seiner geocentrischen Rektascension verglichen werden kann, da sie weder eine Korrektion wegen Refraktion noch Parallaxe erfordert. Denn sowohl Refraktion (I, § 105) als auch Parallaxe (I, § 40) wirken im Höhenkreise, und da der Meridian Höhen- und Deklinationskreis zugleich ist, weil er durch Zenith und Pol hindurchgeht, wird dadurch die Zeit der Meridianpassage eines Gestirns nicht geändert. Die Berechnung der Mondkulminationen gestaltet sich daher viel einfacher als die der Monddistanzen; die Beobachtung derselben fordert aber ein im Meridian fest aufgestelltes Instrument, kann daher nur auf ständigen oder wenigstens temporären Sternwarten, nicht aber zur See und auf Forschungsreisen in fernen Ländern ausgeführt werden. Die Rektascension des Mondes ist übrigens in den größeren astronomischen Ephemeriden das ganze Jahr hindurch von Stunde zu Stunde angegeben, was die Schlußrechnung natürlich noch bequemer gestaltet.

Um auch diese Methode durch ein Beispiel zu erläutern, habe man am 8. Dezember 1894 um $8^h\ 34^m\ 18{\cdot}8^s$ mittlere Ortszeit die Kulmination des Mondes beobachtet in einer Rektascension: $1^h\ 45^m\ 55{\cdot}1^s$. Nun findet man in den Ephemeriden

Mittlere Greenwicher Zeit		AR des ☾			Differenz	
9. Dezember 1894 morgens	4^h	1^h	45^m	$10{\cdot}6^s$	2^m	$4{\cdot}0^s$
=	5	1	47	14·6	2	4·5
=	6	1	49	19·1		

Man sieht also zunächst, daß die Beobachtungszeit zwischen 4^h und 5^h

morgens Greenwicher Zeit fiel. Da nun die beobachtete Rektascension um $0^m\ 44{\cdot}5^s$ größer war als die um 4^h und dieselbe in einer Stunde oder 60^m sich um $2^m\ 4{\cdot}0^s = 124{\cdot}0^s$ vergrößert, hat man die Proportion:

$$124{\cdot}0 : 44{\cdot}5 = 60 : x,$$

woraus folgt: $x = 21{\cdot}532^m = 21^m\ 31{\cdot}9^s$.

Es hatte also der Mond die beobachtete Rektascension am 9. Dezember um $4^h\ 21^m\ 31{\cdot}9^s$ morgens Greenwicher Zeit, als die Ortsuhr $8^h\ 34^m\ 18{\cdot}8^s$ abends des 8. Dezember wies. Sie ging also der Greenwicher Zeit $7^h\ 47^m\ 13{\cdot}1^s$ nach: der Beobachtungsort liegt also $7^h\ 47^m\ 13{\cdot}1^s$ oder $116^0\ 48{\cdot}3'$ westlich von Greenwich.

§ 45. (Längenbestimmungen durch Telegraphen und Chronometer.) Die Fortschritte der Neuzeit haben uns im Telegraphen und in den Chronometern Mittel an die Hand gegeben, Längenbestimmungen nicht nur wesentlich einfacher und schneller, sondern überdies auch wesentlich genauer auszuführen, als dies mittelst der eben besprochenen älteren Methoden möglich ist.

Was zunächst die Methode der Längenbestimmung mittelst Telegraphen betrifft, kann man genau auf dieselbe Art wie Sprechsignale auch Zeitsignale durch Niederdrücken eines Tasters an einem anderen Orte hörbar machen. Wegen der riesigen Schnelligkeit des elektrischen Stromes kann man ferner in erster Annäherung die Zeit vernachlässigen, die das Signal braucht, von einem Orte zum anderen zu gelangen, mit anderen Worten annehmen, daß es an beiden Orten gleichzeitig erfolge. Unter dieser Voraussetzung ist die Differenz der Ortszeiten, an denen das Signal an einem Orte gegeben und am anderen gehört wurde, bereits die Längendifferenz beider Orte. Nehmen wir beispielsweise an, die Sternwarten von Wien und Berlin seien telegraphisch miteinander verbunden, und der Wiener Astronom gäbe an die Berliner Sternwarte durch Niederdrücken seiner Taste genau um $10^h\ 0^m\ 0^s$ ein Signal. Hört dieses der Berliner Astronom an seiner Uhr um $9^h\ 48^m\ 13{\cdot}4^s$, also scheinbar um $11^m\ 46{\cdot}6^s$ früher, so folgt daraus unmittelbar, daß die Berliner Sternwarte $11^m\ 46{\cdot}6^s$ oder $2^0\ 56'\ 39''$ westlich von der Wiener Sternwarte liegt.

Die Mittel anzugeben, welche man besitzt, wenn es auf die größte Schärfe ankommt, die oben vernachlässigte Stromzeit, d. h. die Zeit, die der elektrische Strom benötigt, um längs der Leitung von einem Orte zum anderen zu gelangen, zu bestimmen und in Rechnung zu ziehen und noch eine Reihe anderer kleinerer Korrektionen zu berücksichtigen, würde uns hier zu weit führen. Wir wollen uns daher damit begnügen, das Wesen dieser Methode auseinandergesetzt zu haben, und nur noch die Bemerkung hinzufügen, daß gegenwärtig Längenbestimmungen zwischen zwei Orten, die telegraphisch mit einander verbunden sind oder ohne allzu große Kosten und Schwierigkeiten mindestens temporär mit einander verbunden werden können, nur mehr nach dieser Methode ausgeführt werden.

Anlangend die Methode der Längenbestimmungen mittelst Chronometern

wollen wir zunächst daran erinnern, daß es bei Längenbestimmungen bloß darauf ankommt, zu wissen, welche Ortszeiten zwei Orte in einem bestimmten Momente aufweisen. Hätte man also an einem Orte, sagen wir A, eine vollkommen richtig gehende Uhr, d. h. eine solche, die weder Stand noch Gang (§ 20) hat, und brächte man diese an einen zweiten Ort B, hätte man also so zu sagen die Ortszeit von A nach B übertragen, so hätte man seine Uhr in B nur mit einer nach der dortigen Ortszeit richtig gehenden Uhr zu vergleichen, um die Längendifferenz beider Orte zu erfahren.

Was hier von einem vollkommen richtig gehenden Chronometer gesagt wurde, gilt gleicherweise auch von jedem anderen, wenn man nur dessen Stand und Gang kennt. Hätte z. B. ein Schiffer, ehe er Greenwich verließ, durch Vergleichungen seines Chronometers mit der Uhr der Sternwarte gefunden, daß es täglich um $2{\cdot}0^s$ gegen mittlere Zeit vorausgehe (oder mit anderen Worten einen täglichen Gang von $-2{\cdot}0^s$ habe) und am Tage der Abfahrt um 8^h abends $0^h\,3^m\,0{\cdot}0^s$ gegen mittlere Greenwicher Zeit voraus sei (d. h. einen Stand von $-0^h\,3^m\,0{\cdot}0^s$ gegen diese besitze), hätte ferner der Schiffer 40 Tage später, als sein Chronometer $8^h\,26^m\,50^s$ zeigte, aus der Beobachtung einer Sonnenhöhe geschlossen, daß seine Ortszeit bereits $17^h\,30^m\,22^s$ oder $5^h\,30^m\,22^s$ morgens sei, so würde er seine Länge auf folgende einfache Art erhalten. Der tägliche Gang seines Chronometers beträgt $-2{\cdot}0^s$, also der in 40 Tagen $-1^m\,20^s$; bei der Abfahrt hatte dasselbe aber schon einen Stand von $-3^m\,0^s$; derselbe ist daher inzwischen auf $-4^m\,20^s$ angewachsen. Es war deshalb, als das Chronometer $8^h\,26^m\,50^s$ zeigte, $8^h\,22^m\,30^s$ mittlere Greenwicher Zeit, also die Ortszeit des Schiffes der Greenwicher um $9^h\,7^m\,52^s$ voraus: es befand sich demnach $9^h\,7^m\,52^s$ oder $136^0\,58'$ östlich von Greenwich.

Die Vollkommenheit, mit welcher man bereits im Anfange unseres Jahrhunderts Chronometer auszuführen verstand, hat dieser Art, die Länge zu bestimmen, eine Verbreitung weit über den ursprünglichen Gebrauch zur See gegeben, indem sie vor der Erfindung des elektrischen Telegraphen häufig auch zwischen ständigen Observatorien in Anwendung kam. So wurde namentlich im ersten Dritteile unseres Jahrhunderts die Bestimmung des Längenunterschiedes zwischen Petersburg, Hamburg, Greenwich und Paris durch Chronometerübertragungen in großartigem Maßstabe ausgeführt, indem auf eigens hierfür von den Regierungen beigestellten Schiffen wiederholt Chronometer, bis zu mehreren Hundert an Zahl, zwischen den obigen Städten hin und her transportiert wurden.

§ 46. (Nautische Astronomie.) So lange der Seefahrer von der unmittelbaren Kenntnis der Örtlichkeiten abhing wie der gewöhnliche Landreisende, konnte er wie dieser sich nicht aus dem Bereiche unmittelbarer Wahrnehmungen, die zu seiner Orientierung dienten, entfernen; er durfte die Küsten nicht verlassen, konnte nur bei heiterem Wetter, nicht in Nacht und Nebel seine Ausflüge machen, mußte sich vor Stürmen wohl hüten, die ihn in die hohe See oder in unbekannte

Gegenden verschlagen konnten. Daher das mühselige Forthelfen des Menschen längs der Gestade auf seinen Entdeckungsreisen im Altertume, daher die Jahrtausende sich erhaltende Sonderung der Erdbewohner nach den Weltteilen, daher die außerordentliche Kleinheit des Schauplatzes unserer Geschichte bis in die neuesten Zeiten herab.

Sollte sich die Schiffahrt aus den Fesseln dieser ursprünglichen Beschränktheit erheben, so hatte sie zwei Aufgaben zu lösen:

1. den Ort des Schiffes auf der Oberfläche der Erde möglichst oft leicht und sicher bestimmen zu können;
2. Mittel anzugeben, die uns in den Stand setzen, eine gewisse Richtung in der Fahrt des Schiffes genau beizubehalten;

denn sind wir mit dem ersten bekannt, so können wir aus der Karte angeben, in welcher Richtung wir zu fahren haben, um an den Ort unserer Bestimmung zu gelangen, und sind wir zweitens imstande, diese Richtung zu halten, so ist an dem endlichen Erreichen jenes Ortes weiter nicht zu zweifeln. Wüßte man z. B. auch ohne sie zu sehen, daß man nördlich von der liparischen Insel Stromboli steht, so wüßte man auch, daß man gegen Nordwest steuern muß, um nach Elba zu kommen, und man hätte nur auf die Bewahrung dieser Richtung zu achten, um zu dieser Insel zu gelangen.

Von diesen beiden Aufgaben löste der Mensch die zweite zuerst. Die Eigenschaft eines Magnets, sich bei freier Aufhängung immer mit einem und demselben Ende nach Norden zu kehren, setzt uns in den Stand, zu jeder Zeit und an jedem Orte die Lage der Weltgegenden zu erkennen und somit auch die Richtung anzugeben, in welcher wir zu fahren haben, um stets einer und derselben Weltgegend zuzusteuern. Auf dem Hinterteile des Schiffes vor dem Steuermann steht seitdem die Bussole, d. h. eine Magnetnadel, die auf ihrem Rücken eine Rose mit der gewöhnlichen Bezeichnung der Weltgegenden trägt, so daß die Nadel und die Rose sich mit einander drehen. An der inneren Wand der Büchse ist in der Richtung vom Vorderteile des Schiffes ein breiter Strich angebracht, auf welchen der Steuermann mittelst des Steuers nun bloß z. B. den mit Nordwest bezeichneten Punkt der Rose zu erhalten hat, wenn er das Schiff in dieser Richtung (NW) führen soll. Jede Wendung des Steuerruders nämlich wird das Vorderteil des Schiffes in andere Stellung gegen die Weltgegenden und somit die Nordspitze der Nadel und der Rose in andere Stellung gegen den fixen Strich ihrer Büchse bringen und nur, wenn der Punkt NW der Rose auf jenen Strich einspielt, das Vorderteil gegen diese Weltgegend gekehrt sein.

Mit diesem Hilfsmittel konnte sich nun die Schiffahrt schon in viel weiterem Spielraume bewegen. Wofern man nur den Ort der Abfahrt kannte, hing man weiter nicht von Licht und Wetter ab und konnte des Nachts bei trüber, undurchsichtiger Luft, auf Entfernungen, die jede unmittelbare Wahrnehmung des

Bestimmungsortes unmöglich machten, nun weit kühnere und doch eigentlich weit gesichertere Fahrten unternehmen. Derjenige aber, dem wir die erste Anwendung des Magnets zu diesem Behufe verdanken, ist — vergessen. Wir wissen nur, daß die Chinesen schon 750 v. Chr. sich des Magnets zur Orientierung auf großen Landreisen und etwa seit dem 4. Jahrhundert n. Chr. für die Schiffahrt bedienten. Im 12. Jahrhundert war auch in Europa, wohin die Erfindung der Chinesen durch die Araber gekommen, der Gebrauch der Magnetnadel bereits allgemein bekannt, während man bis dahin sich über die Richtung der Fahrt nur beiläufig an eben sichtbaren Gestirnen orientiert hatte.

So wichtig der dadurch gemachte Fortschritt war, der sich (1569) durch die von Mercator erdachte eigentliche Seekarte wesentlich ergänzte, so bildete doch der Umstand, daß die andere Aufgabe des Schiffers: seinen Ort auch auf hoher See bestimmen zu können, noch ungelöst blieb, ein bedeutendes Hindernis für die Ausdehnung der Schiffahrt; denn war es schon an sich wichtig, zu wissen, ob man nach einer gewissen Dauer der Reise bereits in der Nähe des Bestimmungsortes oder von Inseln, Klippen u. dgl. sei, so konnte man ja überdies durch Stürme oder andere Verhältnisse gezwungen werden, mitten im Meere seinen Kurs zu ändern, und wie sollte man sich dann wieder zurecht finden?

Diesem Übelstande wurde großenteils durch die Erfindung des Log, eines Wegweisers (Hodometers) für die See, wie man deren für Landreisen lange vorher schon ausgedacht hatte, abgeholfen, nämlich einer Vorrichtung, mittelst welcher man die Geschwindigkeit des Schiffes weit sicherer beurteilen kann, als es bis dahin eben nur nach dem Augenmaße geübter Piloten geschehen war. An einer Leine, die bequemlichkeitshalber auf einem Haspel aufgewickelt ist, hängt ein an drei Punkten nahezu senkrecht auf die Leine befestigtes und durch einseitige Beschwerung mit Blei in dieser Lage erhaltenes dreieckiges Brettchen, das vom Hinterteil des Schiffes aus ins Meer geworfen wird, wenn man von dem Log Gebrauch machen will. Läßt man während einer bestimmten Zeit, z. B. einer Minute, die Leine gerade so schnell ablaufen, daß sie das Brettchen weder mitzieht, noch selbst zu schlapp hängt, und mißt man dann das Stück bis zu welchem die Leine ablief, so erhält man, vorausgesetzt, daß das Brettchen stehen blieb, offenbar den Weg, welchen das Schiff in einer Minute zurücklegt und daraus auch sofort den Weg in einer Stunde. Kombiniert man aber diese Geschwindigkeit des Schiffes mit der gehaltenen Richtung, die uns die Bussole giebt, so kann man auch, wofern der erste Abfahrtsort bekannt, den Ort finden, an welchem das Schiff sich eben befindet. Wäre man, um unser früheres Beispiel wieder vorzunehmen, von Stromboli in nordwestlicher Richtung täglich etwa 130 km gefahren, so befände man sich am Ende des zweiten Tages auf der Höhe der Insel Ponza vor Terracina und könnte nun auf einer Karte von neuem die zu haltende Route bestimmen.

Dadurch waren für die Schiffahrt unendliche Vorteile erreicht; mit Bussole

und Log war dem dringendsten Bedürfnisse eigentlich abgeholfen; man konnte sich in längere Fahrten nach bisher noch nie besuchten Ländern einlassen. Wieder aber kennen wir den Erfinder dieses höchst nützlichen, in beständiger Anwendung begriffenen Werkzeuges nicht mehr; seit dem Anfange des 16. Jahrhunderts kam das Log in allgemeinen Gebrauch — das ist so ziemlich alles, was uns von seiner Entstehung bekannt wurde. So verklangen damals vor der Erfindung der Buchdruckerkunst noch die Namen solcher Wohlthäter der Menschheit!

Mit Log und Bussole hatte man viel, aber noch lange nicht alles zur Sicherung von großen Seereisen gewonnen. Die Magnetnadel weist bekanntlich nicht genau nach den Polen des Äquators; diese Abweichung ist nicht nur an verschiedenen Orten verschieden, sie ändert sich auch an einem und demselben Orte im Laufe der Zeit. Überdies unterliegt der Kompaß mancherlei Störungen durch äußere Einflüsse und bedarf daher öfterer Prüfung. Das Log giebt an sich nur beiläufige Resultate, die schon nach einer Fahrt von wenigen Tagen in sonst ganz günstigen Verhältnissen sehr fehlerhaft werden. Strömungen aber, die das Logbrettchen wie das Schiff fortrücken, zeigt es gar nicht an, so daß das Schiff in der That mehrere Seemeilen in der Stunde zurücklegen kann und dabei, dem Log nach zu urteilen, still steht. Endlich geht ein Schiff sehr selten bloß seiner Länge nach, d. h. nur vorwärts, gewöhnlich wird es von Wind und Wellen mehr oder weniger auch der Breite nach, d. h. seitwärts bewegt. Von dieser Verrückung, der sogenannten Abtrift, aber giebt die Bussole so wenig als das Log Rechenschaft, und so kann man selbst mit vorsichtig geregeltem und scheinbar ganz richtig gehaltenem Kurse, wenn man bloß diesen beiden Führern vertraut, seinen Bestimmungsort völlig verfehlen und ist in beständiger Gefahr, auf Klippen und Sandbänke zu stoßen, die man zu vermeiden wähnte.

Log und Bussole dürfen also nur für kurze Distanzen dienen, und sollen so oft als möglich durch unmittelbare Bestimmungen des Ortes, an welchem sich das Schiff befindet, kontrolliert werden. Solche Bestimmungen sind jedoch auf hoher See im allgemeinen nur durch Beobachtung von Gestirnen zu erlangen. Daher seit dem Altertume bis in unsere Tage das Bestreben, Instrumente und Methoden, die sich zu diesem Zwecke eignen, auszusinnen. In demselben Maße aber, als dies Bestreben nach und nach mit Erfolg gekrönt ward, wurde der Schiffer auch kühner, wagte sich immer mehr in den freien Ocean, umfuhr Afrika, entdeckte Amerika und ladet heute zu Weltumsegelungen als — Lustreisen ein.

Als Instrumente dienten dabei zuerst den Portugiesen um die Mitte des 15. Jahrhunderts am Maste befestigte, nach R. Lullus (1234—1315) verfertigte und von Behaim (1459—1507) verbesserte Astrolabien (§ 3), bis im Anfange des 18. Jahrhunderts (1732) der Spiegelsextant (§ 8) diesen Teil der Aufgabe vollkommen löste. Was die Methoden betrifft, so hatte die Bestimmung der Polhöhe immer geringere Schwierigkeit und war daher auch schon im 15. Jahrhundert allgemein verbreitet. Nicht so die Bestimmung der geographischen Länge

auf hoher See, die so großen Schwierigkeiten begegnete, daß man nahe daran war, dieses Problem für unlösbar zu halten, und das englische Parlament im Jahre 1714 einen Preis von 20 000 Pf. St. auf die Entdeckung einer Methode ausschrieb, welche die Länge stets, wenn auch nur auf einen halben Grad genau finden ließe, (§ 21). Prinzipiell hatte man zwar auch hier die richtigen Standpunkte bald gewonnen; praktisch betreten aber konnten diese Wege erst werden, als nach Harrison, in England Arnold, in Frankreich Berthoud und Le Roy um das Jahr 1770 die ersten vollkommneren Chronometer lieferten und die Bewegung des Mondes genau erkannt war. Von den im Vorhergehenden angeführten Methoden der Längenbestimmung, sind nämlich, wie leicht ersichtlich, nur wenige zur See anwendbar, und zwar zunächst die mittelst physischer und optischer Finsternisse (§ 43). Dieselben treten aber, abgesehen von den Verfinsterungen der Jupiter-Satelliten, viel zu selten ein, um dem Seefahrer irgendwie von erheblichem Nutzen sein zu können. Was aber die Verfinsterungen der Jupitersatelliten betrifft, fordert die Beobachtung derselben, soll sie nicht gar zu unsicher ausfallen, immerhin ein Fernrohr von ziemlich bedeutender optischer Kraft, und mit einem solchen sind derartige Beobachtungen auf einem schwankenden Schiffe mit sehr großen Schwierigkeiten verbunden. Außerdem stehen dem Schiffer nur noch die Methoden der Längenbestimmung durch Monddistanzen und Chronometer zur Verfügung. Mit Hilfe dieser kann aber heutzutage jeder mit den entsprechenden Kenntnissen ausgerüstete Seemann in kaum einer Stunde heiteren Wetters den Ort seines Schiffes auf wenige Seemeilen genau angeben, wenn er auch seit Monaten keinen bekannten Punkt berührte. Wir wollen diese Behauptung mittelst eines Beispiels illustrieren, welches dem Reisejournale eines französischen Seefahrers im Jahre 1793 entnommen ist. Er landete Mitte März jenes Jahres im Hafen von Boa, der Hauptstadt von Tonga-Tabou, der größten der Freundschaftsinseln. Die geographische Position dieses Ortes war schon früher durch englische Seeleute genau bestimmt worden, und zwar seine südliche Breite zu $21^{\circ}\ 7{\cdot}6'$ und seine östliche Länge von Greenwich zu $12^{h}\ 19^{m}\ 8{\cdot}4^{s}$. Unser Schiffer wollte von da über die hebridischen und kaledonischen Inseln nach der Ostküste von Neuholland fahren. Um seiner Länge zwischen den vielen Inseln, durch welche sein Lauf gehen sollte, gewiß zu sein, beschloß er, vor Antritt dieser Reise einige Tage zu verweilen und den Stand und Gang seines Chronometers zu prüfen. Zu diesem Zwecke nahm er am 29. März in den Morgenstunden eine Sonnenhöhe auf Tonga-Tabou, um $7^{h}\ 34^{m}\ 28{\cdot}8^{s}$ seines Chronometers, deren Berechnung ihm zeigte, daß seine Beobachtung um $7^{h}\ 33^{m}\ 55{\cdot}1^{s}$ mittlere Zeit von Boa gemacht worden war, daß also sein Chronometer in diesem Augenblick um $33{\cdot}7^{s}$ vor der mittleren Ortszeit vorausging.

Eine ähnliche Beobachtung stellte er auch am 7. April um $7^{h}\ 57^{m}\ 3{\cdot}2^{s}$ Uhrzeit an und fand, daß dieser die mittlere Zeit $7^{h}\ 55^{m}\ 42{\cdot}3^{s}$ entspreche, daß also jetzt die Uhr um $1^{m}\ 20{\cdot}9^{s}$ gegen die mittlere Zeit vorausgehe, daß sich

folglich in den 9 Tagen Zwischenzeit ihr Stand um $-0^m 47{\cdot}2^s$ geändert habe, ihr täglicher Gang also $-5{\cdot}24^s$ betrage.

Am 8. April segelte er von diesem Hafen gen West ab. Am 12. überfiel ihn ein Sturm, der bis zum 14. währte und ihn, wie er besorgte, von dem rechten Weg abgebracht hatte. Als am 15. April nachmittags sich die Sonne wieder zeigte, bestimmte er zuerst seine Breite, die er gleich $19^0\ 51{\cdot}3'$ südlich fand. Um nun auch seine Länge zu erhalten, beobachtete er mit dem Sextanten zur Zeit, als sein Chronometer $3^h\ 48^m\ 28^s$ zeigte, eine Sonnenhöhe und fand daraus durch Rechnung, daß er die Beobachtung um $2^h\ 47^m\ 25{\cdot}5^s$ mittlerer Ortszeit seines Schiffes angestellt habe.

Nach seinen früher mitgeteilten Beobachtungen im Hafen von Boa ging das Chronometer am 7. April $7^h\ 57^m$ morgens gegen mittlere Zeit jenes Hafens um $1^m\ 20{\cdot}9^s$ voraus. Da aber dasselbe täglich noch $5{\cdot}24^s$ weiter vorausgeht, so war es am 15. April $3^h\ 48^m$ abends oder 8·3 Tage nach jener Beobachtung um 8·3 mal $5{\cdot}24^s$ oder $43{\cdot}5^s$ mehr, also im ganzen um $2^m\ 4{\cdot}4^s$ gegen mittlere Zeit jenes Hafens voraus. Wir haben demnach für den Augenblick der letzten Beobachtung

Zeit des Chronometers auf dem Schiffe . .	3^h	48^m	$28{\cdot}0^s$
Korrektion		$-\ 2$	$4{\cdot}4$
Mittlere Zeit in Boa	3	46	23·6
Zuvor war aber mittlere Zeit des Schiffs .	2	47	25·5
Differenz	0	58	58·1

und dies ist daher die gesuchte Längendifferenz des Schiffs und des Hafens von Boa. Da die mittlere Schiffszeit die kleinere ist, liegt das Schiff um $0^h\ 58^m\ 58^s{\cdot}1$ westlich von jenem Hafen. Es war aber von Greenwich aus gezählt

östliche Länge von Boa	12^h	19^m	$8{\cdot}4^s$
die gefundene Längendifferenz (westlich)	0	58	58·1
also ist die östliche Länge des Schiffes	11	20	$10{\cdot}3 = 170^0\ 2{\cdot}6'$

Oben hatten wir noch: $19^0\ 51{\cdot}3'$ südliche Breite; ein Blick auf die Karte zeigte daher dem Kapitän, daß sein Schiff im südlichen Teile des Archipels der Neu-Hebriden sich befinde.

§ 47. (Systematische und zufällige Fehler.) Wir haben im Vorhergehendem die Instrumente kennen gelernt, mit deren Hilfe die Astronomen die Polhöhe und die Zeit ihres Beobachtungsortes und weiteres auch teils durch absolute, teils durch Differential-Beobachtungen die Rektascensionen und Deklinationen der Gestirne bestimmen. Im Verlaufe des Werkes haben wir ferner erörtert, wie man daraus die Schiefe der Ekliptik, die Lage der Nachtgleichenpunkte, die Elemente der Planetenbahnen u. s. w. durch Rechnung ableiten kann. Damit aber diese so gewonnenen Größen fehlerfrei seien, müssen dies natürlich auch die Beobachtungen sein, aus denen sie errechnet wurden. Um diese Beobachtungen jedoch fehlerlos

zu erhalten, werden von dem sie anstellenden Astronomen in vielen Fällen praktische Geschicklichkeit und theoretischer Scharfsinn in einem Grade erfordert, wie sie nur selten in einem und demselben Menschen vereinigt anzutreffen sind. Zur Erhärtung dessen wird es genügen, einige der großen Hindernisse, die zu besiegen sind, wenigstens im allgemeinen anzuzeigen.

Da kein Menschenwerk vollkommen ist, können wir dies auch von unseren astronomischen Instrumenten, selbst den besten nicht erwarten. Ja, wenn es auch einmal zufällig gelingen sollte, ein in allen Beziehungen fehlerfreies Instrument herzustellen, so würde solcher Zustand doch keine Dauer haben und schon binnen kurzem das Instrument einer Menge kleiner Fehler unterworfen sein. Die immer wechselnden Fluktuationen der Wärme bringen in jedem Instrumente nicht bloß augenblickliche und vorübergehende, sondern auch konstante Veränderungen hervor, die sich nie ganz wieder aufheben. Durch das Gewicht der einzelnen Teile, die bei dem Gebrauche verschiedene Lagen gegen einander annehmen, werden Verziehungen, Pressungen und Reibungen entstehen, die kein noch so symmetrischer Bau des Ganzen und kein noch so zweckmäßig ausgedachtes Gegengewichtssystem vollkommen beseitigen kann. Nebst diesen hat jedes, auch das beste Instrument noch Fehler der Ausführung, die wohl mit der Geschicklichkeit und dem Scharfsinne des Künstlers sich vermindern, aber nie völlig verschwinden.. So wird die Achse nie vollkommen cylindrisch, nie ganz konzentrisch mit ihrem Kreise, dieser nie geometrisch kreisförmig, die Einteilung desselben nie völlig fehlerfrei sein u. s. w. Dasselbe wird auch von der Aufstellung der Instrumente gelten. Die Ebene des Meridiankreises oder die optische Achse seines Fernrohrs wird nie ganz genau in der Ebene des Meridians, die vertikale Achse des Höhenkreises nie völlig senkrecht auf dem Horizonte, die Hauptdrehungsachse des Äquatorials nie vollkommen der Weltachse parallel sein u. s. w., da alle Vorsicht, die man dabei angewandt haben mag, doch nur eine Verminderung, aber keine völlige Vernichtung aller Fehler erreichen kann. So vollkommen also diese Instrumente auch gebaut und aufgestellt sein mögen, werden sie doch Fehler aller Art besitzen, und es ist daher Sache des Beobachters, sich so viel als möglich von diesen unabhängig zu machen d. h. diese Fehler entweder geschickt zu eliminieren und dadurch unschädlich zu machen oder ihre wahre Größe durch die Beobachtungen selbst zu entdecken und dann ihnen Rechnung zu tragen. Hierin vorzüglich besteht das eigentliche Geschäft des praktischen Astronomen, ein schweres und oft sehr verwickeltes Geschäft, von welchem aber hier nur die allgemeinsten Züge den Lesern mitgeteilt werden können, da es, um sie völlig einzuführen, nötig sein würde, alle Anwendungen jedes einzelnen Instruments umständlich durchzugehen. So wird z. B. stets vorausgesetzt, daß sich die Alhidade mit dem Kreise genau konzentrisch bewegt. Da diese Forderung von dem Künstler nicht in aller Strenge befriedigt werden kann, bleibt dem Beobachter, wenn er genaue Resultate erhalten will, nichts übrig, als entweder die Größe der Excentrizität aufzusuchen und seine Beobachtungen dar-

nach zu verbessern oder aber ihren Einfluß durch irgend ein Mittel zu umgehen und dadurch unschädlich zu machen. Nun läßt sich auf eine einfache Weise zeigen, daß die Wirkung derselben so gut wie völlig vernichtet wird, wenn man der Alhidade, z. B. der Alhidade mm' des Äquatorials (Fig. 134, S. 960) zwei einander gegenüberstehende Arme giebt und *jeden* der Endpunkte m und m' derselben mit einem Vernier versieht. Denn da steht bei einer excentrischen Alhidade der eine Vernier immer eben so viel zu weit *voran*, als der andere *zurück*, die beiden Lesungen werden, die eine eben so viel zu groß als die andere zu klein und daher das *Mittel* aus beiden Lesungen der Wahrheit gemäß sein. Aber nur selten läßt sich dieses Umgehen ebenso einfach auf andere Fehler des Instrumentes anwenden. Wenn z. B. die Rotationsachse des Äquatorials der Weltachse nicht parallel ist, so bleibt nichts übrig, als die Abweichung dieser Rotationsachse von ihrer wahren Lage in horizontaler sowohl als auch in vertikaler Beziehung aufzusuchen, wie wir dies oben (§ 34) gethan haben, und dann den so bekannten Fehlern dieser Achse bei jeder Beobachtung Rechnung zu tragen.

Die Fehler in der Konstruktion und in der Aufstellung der Instrumente haben das Eigentümliche, daß sie alle Beobachtungen in derselben Weise oder doch mit einem bestimmten Betrage beeinflussen. Wenn beispielsweise der Nullpunkt des Kreises nicht richtig steht, wird jede an diesem Instrumente angestellte Beobachtung, so gut sie auch sonst sein mag, um den Betrag dieses Fehlers, den wir oben als Inderfehler bezeichneten, irrig sein. Ebenso wird, wenn die Zapfen eines Mittagsrohrs nicht genau kreisförmig sind, dieser Fehler die Durchgangszeit eines Sternes durch den Meridian stets um eine bestimmte Größe verfälschen. Derartige Fehler können deshalb, wie man leicht einsieht, durch keine Vermehrung der Zahl der Beobachtungen aus dem Resultate weggeschafft werden: sie werden vielmehr stets mit ihrem vollen Betrage in dasselbe eingehen. Man nennt sie daher auch *systematische* oder *konstante* Fehler.

Die Bestimmung der systematischen Fehler ist nicht bloß aus dem oben angegebenen Grunde, sondern auch deshalb von besonderer Wichtigkeit, weil sie häufig die Eigenschaft besitzen, daß sie nach gewissen Gesetzen fortgehen und in bestimmte Perioden eingeschlossen sind, nach welchen sie in der früheren Ordnung wiederkehren. Dies wird unter anderen der Fall sein bei einer Excentrizität des Kreises, bei einer Verbiegung seiner Ebene, bei einer unrichtigen Einteilung desselben, die gewöhnlich von einer falschen Stellung des Kreises zur Teilmaschine bei seiner Anfertigung kommt, u. s. w. So lange daher das Instrument in allen seinen Eigentümlichkeiten nicht vollkommen erkannt ist, wird man nie entscheiden können, ob periodische, nach einem gewissen, wenn gleich noch unbekannten Gesetze fortgehende Fehler der Beobachtungen bloß von dem Instrumente kommen, oder ob sie in der Natur der Erscheinungen selbst gegründet sind, und so lange man diese beide Quellen nicht unterscheiden und von einander trennen kann, ist auch ein wahres Fortschreiten unserer Kenntnis der Natur unmöglich.

Einen ganz anderen Charakter tragen die eigentlichen Beobachtungsfehler, die aus der Unvollkommenheit unserer Sinne oder ähnlichen Ursachen entspringen. Diese Fehler scheinen nach keinem bestimmten Gesetze fortzugehen, sondern vielmehr ganz dem Zufalle überlassen zu sein. Man nennt sie deshalb auch, zum Unterschiede von den früheren, zufällige Fehler. So werden die Fehler, mit welchen unser Auge den Moment des Durchganges eines Sternes durch den Faden auffaßt, oder die, mit welchen unser Ohr die Pendelschläge der Uhr vernimmt, nach welchen wir die Zeit der Beobachtung bestimmen, selbst der Wechsel der Witterung, der in der Refraktion, und der Wechsel der Temperatur, der in dem Instrumente augenblickliche Veränderungen hervorbringt, ferner der Mangel oder auch die zu große Gespanntheit unserer Aufmerksamkeit und unzählige andere Ursachen die Beobachtungen bald etwas größer, bald etwas kleiner geben, als sie der Wahrheit gemäß sein sollen. Man wird deshalb z. B. die Polhöhe einer Stadt aus mehreren auf einander folgenden Beobachtungen schon mit gehöriger Rücksicht auf die Fehler des Instruments finden:

am ersten Tage	48°	12′	35″
zweiten =	48	12	33
dritten =	48	12	34

Welche von diesen Zahlen soll man nun als die wahre oder doch als die der wahren nächste ansehen?

Eine einfache Betrachtung bahnt uns hier einen Ausweg. Da die Fehler, von welchen die Rede ist, zufällig sein sollen, werden sie die gesuchten Resultate zuweilen vergrößern und im allgemeinen eben so oft und eben so viel wieder verkleinern: man wird daher mit großer Wahrscheinlichkeit annehmen können, daß auch hier wie so oft in anderen Fällen die Wahrheit in der Mitte liege, und daß man daher nur aus den durch die einzelnen Beobachtungen erhaltenen Resultaten das arithmetische Mittel nehmen darf, um das der Wahrheit nächste Resultat zu erhalten. In dem letzten Beispiele beträgt dieses Mittel 48° 12′ 34″, und dies ist daher, nach dem so eben Gesagten, als die wahrscheinlichste Polhöhe anzusehen.

Es ist für sich klar, daß dieses Verfahren im allgemeinen desto zuverlässiger sein wird, je größer die Anzahl der Beobachtungen ist, vorausgesetzt, daß sie alle unter ähnlichen Verhältnissen angestellt wurden, und daß keine von ihnen irgend einen Vorzug vor der anderen verdient. Wenn aber dieser Fall, der in der That selten genug eintritt, nicht statt hat, wenn z. B. von 30 Beobachtungen die ersten 10 bei günstigerem Wetter, die zweiten 10 von einem geübteren Beobachter und die letzten 10 an einem besseren Instrumente angestellt wären, kurz, wenn die einzelnen Beobachtungen, wie man zu sagen pflegt, verschiedenes Gewicht haben, so läßt sich die vorhergehende einfache Regel offenbar nicht mehr anwenden. Wie soll man also dann verfahren?

Noch verwickelter wird die Antwort auf diese Frage, wenn man durch die

Beobachtungen mehrere Größen zugleich der Wahrheit so nahe als möglich finden will. Um auch davon ein Beispiel zu geben, haben die Astronomen ihre Sonnen- und Planeten-Tafeln (I, § 83), so eingerichtet, daß man daraus den Ort dieser Gestirne für jeden gegebenen Augenblick leicht finden kann. Zur Berechnung dieser Tafeln haben sie für die 6 Elemente (I, § 82) eines jeden Planeten gewisse Werte angenommen, die ihnen damals die wahrscheinlichsten dünkten. Da aber diese Werte ohne Zweifel der Wahrheit nicht ganz entsprechen, werden die daraus berechneten Orte den wirklichen Ort der Planeten nicht vollkommen wiedergeben, und diese Abweichungen vom Himmel früher oder später immer dringender das Bedürfnis hervortreten lassen, durch Verbesserung der ursprünglichen Elemente die Fehler unserer Tafeln thunlichst zu verkleinern. Wie sollen wir aber vorgehen, diesen Zweck zu erreichen?

§ 48. (Methode der kleinsten Quadrate.) Fragen, wie die zuletzt aufgestellte, gehören in das Gebiet der Wahrscheinlichkeits-Rechnung, welche nicht nur in der Astronomie, sondern wie bekannt auch im gesellschaftlichen Leben bei Glücksspielen, Versorgungsanstalten u. s. w. eine sehr wichtige Rolle spielt. Die ersten Grundlagen erhielt diese Lehre durch Pascal, Moivre, Huyghens, Leibnitz, Bernoulli u. a., während wir die weit schwierigere Ausbildung derselben für naturwissenschaftliche Zwecke, die sogenannte Methode der kleinsten Quadrate, unseren großen Zeitgenossen Laplace und Gauß verdanken. Das Wesen dieser Methode wollen wir durch folgendes Beispiel zu versinnlichen versuchen.

Nehmen wir an, wir hätten an irgend einem Tage die Sonne möglichst sorgfältig beobachtet, und durch Vergleichung unserer Beobachtung mit den Tafeln gefunden, daß diese die Länge der Sonne um 40″ zu klein ergeben. Wo liegt nun dieser Fehler? Er kann in der Epoche, der Excentricität, der Lage der großen Achse, — kurz in jedem der 6 Elemente oder in mehreren oder auch in allen zugleich liegen, und das letztere ist sogar das Wahrscheinlichste, da wir keinen Grund haben, anzunehmen, daß auch nur ein einziges davon vollkommen richtig angenommen worden war.

Es wird nun schon einige Kunst erfordern zu entscheiden, welchen Einfluß ein jedes der 6 Elemente, für sich allein betrachtet, auf die Länge des Planeten hat, um wieviel es also geändert werden müßte, wenn man durch seine Änderung allein den Fehler von 40″ wieder gut machen wollte. Da nun aber jedem Elemente sein bestimmter Teil von diesem Fehler zukommen soll, so wird man offenbar ebensoviel Beobachtungen als Elemente sind, also sechs Beobachtungen zu Hilfe nehmen müssen, um aus ihnen insgesamt diejenigen Änderungen zu bestimmen, die jedes dieser Elemente erfahren muß, damit dadurch alle 6 Beobachtungen genau dargestellt werden.

Schon dies wird gar manche mühsame und zeitraubende Rechnungen geben. Und wenn man sie endlich durchgeführt hat, wenn nun die Elemente so bestimmt sind, daß sie diesen 6 Beobachtungen vollkommen entsprechen: werden diese so

gefundenen neuen Elemente nun auch schon die wahren sein? Sie würden es sein, wenn jene 6 Beobachtungen selbst ganz wahr und fehlerfrei wären. Allein das sind sie, selbst wenn man sie von allen systematischen Fehlern vollständig befreit hat, infolge der stets zurückbleibenden zufälligen Beobachtungsfehler nicht, und in Beziehung auf die oben erwähnte Natur dieser Fehler dürfen wir die Tafeln unserer Vorgänger nicht bloß mit 6, sondern müssen sie vielmehr mit so vielen guten Beobachtungen als möglich vergleichen, um daraus die wahrscheinlichsten Elemente der Planeten bestimmen zu können. Wir werden also z. B. 100 der besten Beobachtungen sammeln, und jede derselben mit den Tafeln vergleichen. Dabei ist noch zu bemerken, daß nicht alle Beobachtungen denselben Wert oder dasselbe Gewicht haben, und mit Berücksichtigung auch dieses Umstandes wird es nun an uns sein zuzusehen, auf welche Weise wir jedes der 6 Elemente zu bestimmen haben, um dadurch alle 100 Beobachtungen, jede in Beziehung auf ihr Gewicht, nicht ganz genau, das ist offenbar unmöglich, aber doch genauer darzustellen, als dies durch was immer für andere Werte der Elemente geschehen könnte. Die Leser sehen ohne unsere Erinnerung, daß diese und ähnliche Aufgaben nicht eben zu den leichtesten und bequemsten gehören, obschon sie offenbar zu den wichtigsten und notwendigsten der Astronomie zählen.

Der eigentliche Nutzen der Methode der kleinsten Quadrate beruht aber nicht sowohl in der oft auch ohne ihre Anwendung erreichbaren größtmöglichen Annäherung an die wahren Werte der gesuchten Größen, sondern vielmehr in dem klaren Bewußtsein über die erzielte Genauigkeit des Resultates, das sie dem Rechner verschafft. Denn die Kenntnis der Sicherheit der Bestimmung einer Größe ist oft so wichtig, daß ohne diese die Bestimmung selbst ganz wertlos würde. So liegen beispielsweise beinahe alle Angaben von Fixsternparallaxen hart an der Grenze der heute noch meßbaren Größen und haben nur durch den von der Wahrscheinlichkeits-Rechnung erbrachten Beweis Vertrauen gefunden, daß die Fehler, welchen die Resultate unterliegen, noch kleiner sind als die Resultate selbst.

Diese Analyse ist auf solche Weise nicht nur ein mächtiges Mittel in der Hand des Geometers geworden, sich von Beobachtungsfehlern unabhängig zu machen und die gewünschten Resultate in einer bis dahin unerreichten Reinheit und Bestimmtheit zu erhalten, sondern sie hat auch Veranlassung zu wichtigen Untersuchungen gegeben, auf die man ohne ihre Hilfe vielleicht nie verfallen wäre. Die Acceleration der mittleren Bewegung des Mondes (III, § 56) z. B. war nahe daran, als eine bloße Täuschung ganz verworfen zu werden, bis Laplace durch sorgfältige Vergleichung der älteren mit den neueren Beobachtungen fand, daß die Wahrscheinlichkeit der Existenz dieser Acceleration nahe an Gewißheit grenze. Dadurch bewogen, ging er die ganze Theorie des Mondes noch einmal durch und war endlich so glücklich, die so lange vergebens gesuchte Ursache jener Erscheinung in der Veränderlichkeit der Excentricität der Erdbahn

nachzuweisen. Ebenso wurde Laplace auf seine Hypothese über die Entstehung des Sonnensystems durch die Überzeugung geführt, daß man Millionen gegen Eins wetten kann, die Übereinstimmung in den Neigungen der Bahnen und in den Richtungen der Revolutions- und Rotationsbewegungen sämtlicher Planeten (III, § 65) sei keine zufällige.

§ 49. (Sternwarten.) Nachdem wir im Vorhergehenden einen Teil der hauptsächlichsten Werkzeuge des Astronomen kennen gelernt und gesehen haben, wie man sich derselben für die verschiedenen Zwecke der Wissenschaft zu bedienen habe, wollen wir uns noch mit der Einrichtung der Gebäude, in welchen die Instrumente aufgestellt werden, bekannt machen. Diese Gebäude, bei den alten Griechen σκοπή, im Mittelalter Observatorium oder Specula genannt, erhielten ihren deutschen Namen Sternwarte erst um die Mitte des 18. Jahrhunderts auf den Vorschlag des untersteierischen Wenden, J. S. V. Popowitsch, der sich viel und nicht ohne Erfolg mit der Reinigung der deutschen Sprache befaßte. Noch Hevel nannte um 1680 seine Warte sonderbarerweise „Stellaeburgum".

Die Grundsätze, nach welchen heutzutage Sternwarten zu erbauen sind, weichen von denen früherer Jahrhunderte wesentlich ab, hauptsächlich deshalb, weil die Genauigkeit, deren die Beobachtungen sich jetzt erfreuen, unter den Erfordernissen einer angemessenen Aufstellung der Instrumente unwandelbare Festigkeit in den Vordergrund bringt. England, dem Vaterlande der neueren praktischen Astronomie, gebührt das Verdienst, schon zu Ende des 17. Jahrhunderts durch seine berühmte Sternwarte in Greenwich das erste Muster einer den heutigen Anforderungen der Wissenschaft entsprechenden Anstalt gegeben zu haben. Obschon überreich an trefflichen Erfolgen, blieb dieses Beispiel doch lange unbeachtet, und auf dem Kontinente wurde erst 1791 auf dem Seeberge bei Gotha eine Sternwarte nach neueren Grundsätzen errichtet, mißglückte aber, da ihr Erbauer Zach den Bedürfnissen freier Aussicht und ruhiger Lage durch völliges Isolieren von aller menschlichen Wohnung zu große Opfer gebracht hatte. So kommt es, daß auf dem Festlande keine auch nur aus dem vorigen Jahrhunderte datierende Sternwarte den Grundsätzen genügt, die heute als die allein richtigen gelten und hier in Kürze angeführt werden sollen.

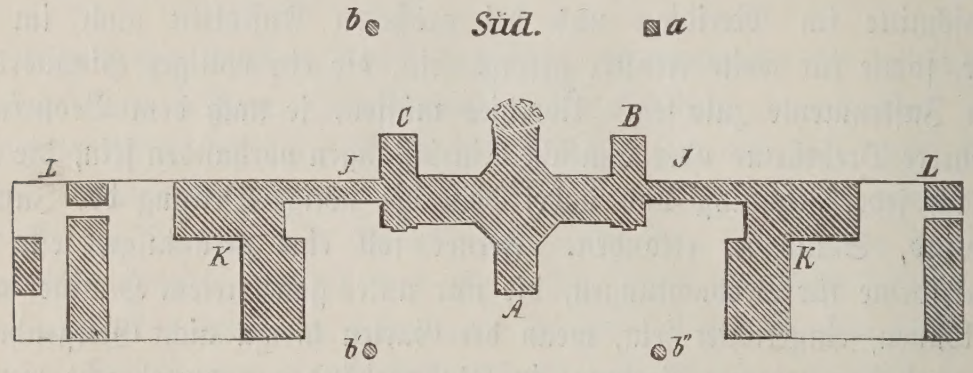
Die Lage des Gebäudes muß vor allem frei von Erschütterungen sein, da diese jede feinere Beobachtung stören; dieselbe muß sich ferner der nötigen Stille erfreuen, um z. B. den Pendelschlag der Uhren noch hören zu lassen; allzu große Nähe von stark befahrenen Straßen, Glockentürmen u. dgl. ist demnach zu vermeiden. Die Aussicht soll möglichst unbehindert sein, ein Umstand, dessen Berücksichtigung übrigens weit weniger in aller Strenge durchgeführt zu werden braucht als die eben erwähnten Punkte: es hat nicht viel zu bedeuten, wenn einzelne Gegenden des Horizonts durch hohe Gebäude oder Berge gedeckt sind; der Astronom ist, wofern diese Deckungen nicht zu bedeutende und wichtige Teile

des Himmels treffen, dann nur zuweilen gezwungen, auf diese oder jene Beobachtung Verzicht zu leisten, während Erschütterungen und Getöse alle seine Wahrnehmungen unsicher machen. Aus den eben berührten Gründen und um den nötigen Platz zu später wünschenswerten Erweiterungen zu gewähren, soll eine Sternwarte abgesondert von anderen Häusern stehen und von einem freien, zu ihren Zwecken disponiblen Raume umgeben sein. Um die meteorologischen Aufzeichnungen, deren der Astronom zur Bestimmung atmosphärischer Einflüsse auf seine Beobachtungen bedarf, richtig zu erhalten und das deutliche Sehen vor schädlichen Einwirkungen eines zu heftig reflektierenden Bodens, sowie endlich die Instrumente vor Staub zu schützen, soll jener Raum um die Anstalt mit Bäumen und anderen Vegetabilien bepflanzt sein, also eine Art Garten bilden. Das Gebäude selbst soll so niedrig als möglich, überdies sollen alle Unterlagen von Instrumenten, die eine fixe Aufstellung fordern, vom übrigen Baue von den Fundamenten an isoliert sein, um jedem störenden Einflusse von Erschütterungen im Innern oder von ungleicher Erwärmung des Hauses vorzubeugen. Es soll für Einschnitte im Meridian und bei größeren Anstalten auch im Ersten Vertikale, sowie für weite Fenster gesorgt sein, die ein völliges Hinausrücken beweglicher Instrumente zulassen. Überdies müssen, je nach dem Bedürfnisse, ein oder mehrere Drehtürme oder ähnliche Einrichtungen vorhanden sein, die ein Aussehen nach jeder Richtung und dabei doch die nötige Deckung des Instruments gegen Wind, Staub ꝛc. erlauben. Ferner soll eine geräumige, feste Terrasse oder Plateforme für Beobachtungen, die nur unter ganz freiem Himmel angestellt werden können, eingerichtet sein, wenn der Garten hierzu nicht Gelegenheit giebt. Endlich muß das gesamte Personal in Wohngebäuden untergebracht werden, die unmittelbar an die Sternwarte stoßen, da man nur unter diesen Umständen jeden heitern Augenblick des Tages und der Nacht benützen kann.

Zur vollständigen Ausstattung an Instrumenten gehören: Meridiankreis, Mittagsrohr im Ersten Vertikal, möglichst großes Fernrohr mit parallaktischer Aufstellung, Heliometer, photographisches Fernrohr, Kometensucher und mehrere kleinere Fernrohre; dann an Hilfsapparaten: Pendeluhren und Chronometer, Spektralapparate, Chronographen u. s. w.; außerdem geodätische und meteorologische Instrumente, die letzteren eigentlich nur, insoweit dieselben Hilfsmittel zu astronomischen Untersuchungen bilden, so wie alle für photographische Zwecke nötigen Vorrichtungen, und endlich ein physikalisches Kabinett für Spektraluntersuchungen verschiedener Art an irdischen Stoffen. Eine so vollständige Ausrüstung ist indes nicht nur äußerst kostspielig, sondern sie könnte auch ohne ein hinreichend zahlreiches Personal nicht entsprechend ausgenützt werden. Es sind daher auch bereits heutzutage kaum noch zwei bis drei Sternwarten so vollständig ausgerüstet: die meisten begnügen sich je nach ihren speziellen Bestimmungen oder ihrem Arbeitsprogramme mit einem größeren oder kleineren Teile des kompleten astronomischen Apparates.

Die größeren heutigen Sternwarten lassen ihrer äußeren Gestaltung nach, abgesehen von unwesentlicheren oder ungewöhnlicheren Varianten, hauptsächlich zwei von einander wesentlich abweichende Formen erkennen. Die eine stellt die verschiedenen, teils für Beobachtungen, teils für Wohnungen, Bureaux, Bibliothek u. s. w. bestimmten Lokalitäten im allgemeinen neben einander, so daß ein langes Gebäude entsteht, dessen Achse senkrecht auf den Meridian gestellt ist; die andere reiht die eigentlichen Beobachtungsräume in Form eines Kreuzes an einander, von dem ein Balken verlängert ist, und zum Wohnhause dient. Für beide dieser typischen Formen haben wir an den Sternwarten in Pulkowa und Wien in großartigem Maßstabe ausgeführte Repräsentanten aufzuweisen, die nicht nur als ein glänzendes Denkmal der erleuchteten Munifizenz den betreffenden Regierungen, sondern auch wegen ihrer zweckmäßigen Einrichtung und ihrem imponierenden Stil den betreffenden Leitern des Baues zu bleibender Ehre gereichen.

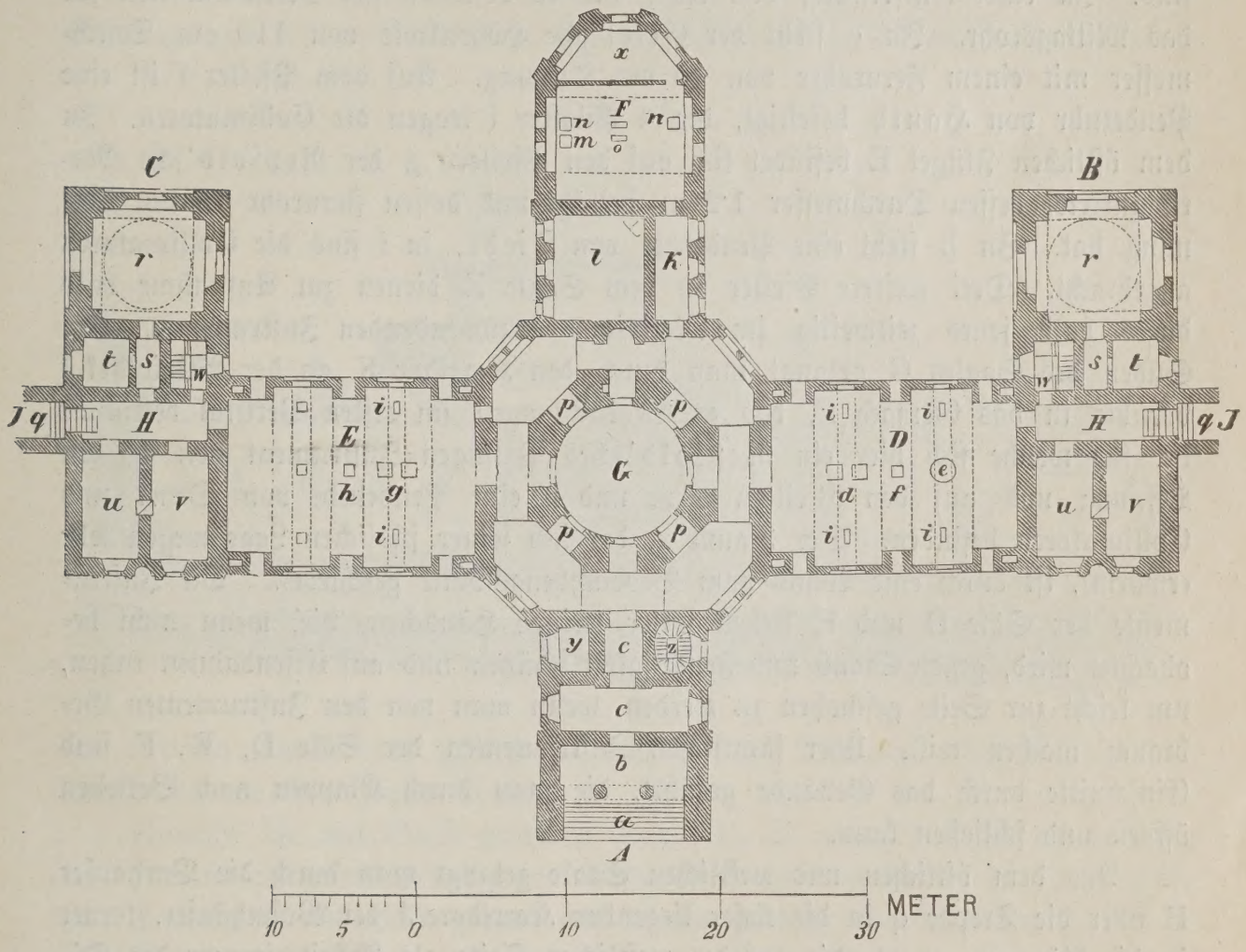
Fig. 150.



Die im wissenschaftlichen Teile von W. Struve, im architektonischen von Brüloff herrührende Sternwarte Pulkowa bei Petersburg wurde im Jahre 1839 vollendet. Das in seinen allgemeinen Umrissen aus Fig. 150 ersichtliche Gebäude steht in der Mitte eines zur Sternwarte gehörigen Grundstückes von beiläufig 21 Hektaren Flächenraum auf einem mit üppiger Vegetation bekleideten Hügel, von dessen 74 m über der See sich erhebendem Gipfel man die ganze Umgegend beherrscht und zu dessen Fuß das kaum 1000 Einwohner zählende Dorf Pulkowa liegt, an der Straße nach Moskau, etwa 20 km vom Mittelpunkte der Residenz, und 8 km von dem Lustschlosse Zarskoje-Selo entfernt. Zur eigentlichen Sternwarte ABC sind noch zu zählen a ein viereckiges, b' b', b'' drei runde Hilfsobservatorien, jenes mit einem Meridiandurchschnitte, diese mit Drehdächern versehen, für Übungen von Schülern; die Korridore J führen zu den ein Stockwerk hohen Wohnhäusern K der Angestellten, in welchen sich zugleich die mechanische Werkstätte befindet; L endlich sind ebenerdige Gebäude, die als Ställe, Waschküchen, Bäder, Eiskeller, Schmieden u. s. w. dienen. Die Ausdehnung des ganzen Baues in der Richtung von West nach Ost beträgt 260 m. Gegen Süden, in welcher Richtung das Terrain weniger rasch abfällt,

darf auf eine Entfernung von 1 km über die Grenzen des zur Sternwarte gehörigen Bodens kein Gebäude ohne vorläufige Zustimmung des Direktors errichtet werden. Die überall sonst für solche Institute sehr bedenkliche Einsamkeit, welche hier nicht zu vermeiden war, da man sich aus dem sumpfigen Delta der Newa erheben mußte, und erst in dieser Entfernung von der Hauptstadt der Boden hierzu hinreichend ansteigt, ist durch die liberalste Sorge für alle Bedürfnisse der Astronomen möglichst unfühlbar gemacht.

Fig. 151.



Zur näheren Beschreibung der eigentlichen Sternwarte ABC und ihrer Ausrüstung mit Instrumenten zur Zeit ihrer Erbauung diene Fig. 151, aus der durch den beigefügten Maßstab alle horizontalen Dimensionen des Erdgeschosses zu ersehen sind. Die Treppe a des nach Nord gerichteten Haupteinganges A führt durch das Peristyl b und die Vestibüle c in den runden Hauptsaal G der beweglichen Instrumente (Fernrohre aller Art, meteorologische und geodätische Instrumente, Chronometer u. s. w.), der durch acht Pfeiler von einem Oktogon getrennt wird, aus welchem man in die übrigen Räume des ebenerdigen Teiles der Sternwarte gelangt. Die Pfeiler tragen die gewölbte Decke des Saales und

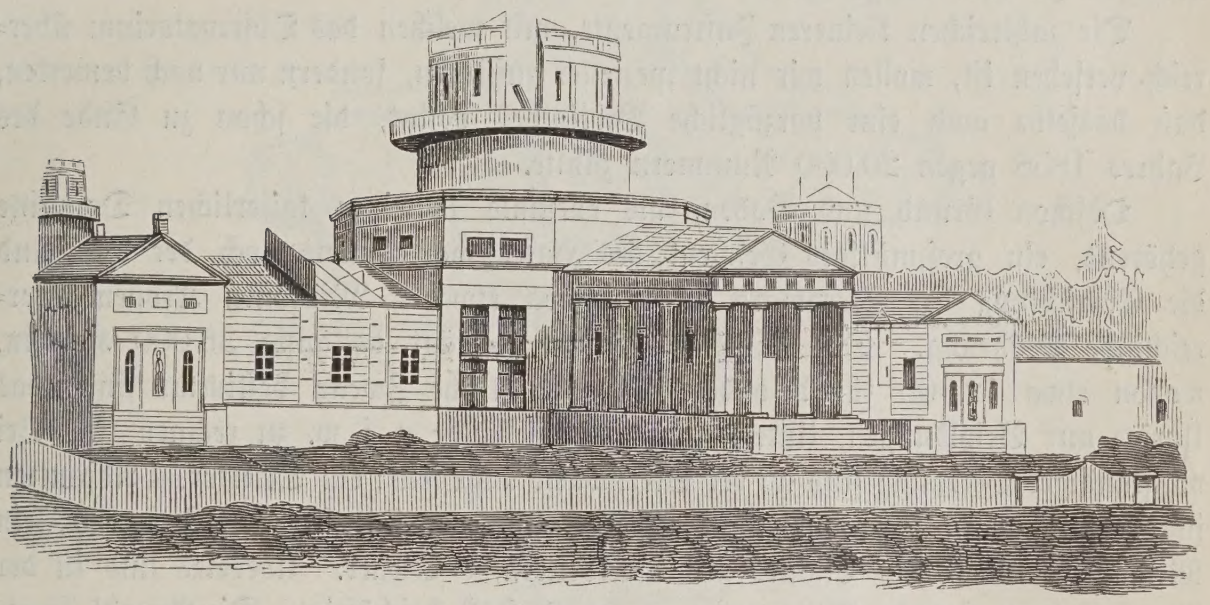
sind in ihren Fundamenten vom übrigen Baue isoliert. An einem derselben ist die Normaluhr von Kessels befestigt. Vier Zwischenräume p blieben für den Durchgang frei, die vier übrigen dienen zur Aufbewahrung kleiner Apparate. Östlich und westlich vom Hauptsaale befinden sich die Meridian-Instrumente. Der westliche Saal D enthält ein großes Ertel'sches Mittagsrohr von 16 cm Öffnung auf den Pfeilern d, die, wie alle Unterlagen von Instrumenten in den Räumen D, E und F, in ihren Fundamenten isoliert und unterirdisch durch doppelte Mauern vor plötzlichen Veränderungen durch Temperaturwechsel gesichert sind. In einer Entfernung von etwa 170 m befinden sich Meridianmiren für das Mittagsrohr. In e steht der Ertel'sche Höhenkreis von 110 cm Durchmesser mit einem Fernrohre von 15 cm Öffnung. Auf dem Pfeiler f ist eine Pendeluhr von Hauth befestigt, die 4 Pilaster i tragen die Collimatoren. In dem östlichen Flügel E befindet sich auf den Pfeilern g der Repsold'sche Meridiankreis, dessen Durchmesser 1·2 m beträgt und dessen Fernrohr 15 cm Öffnung hat. In h steht eine Pendeluhr von Tiede, in i sind die Collimatoren angebracht. Drei weitere Pfeiler in dem Saale E dienen zur Aufnahme bald dieses bald jenes zeitweilig im Meridiane anzuwendenden Instruments. Im Süden des Saales G gelangt man durch den Korridor K an der Bibliothek l vorüber in das Gemach F, das zu Beobachtungen im ersten Vertikal bestimmt ist, für welche sich hier ein Repsold'sches Passagen-Instrument von 16 cm Öffnung und auf den Pfeilern o m und n eine Pendeluhr von Dent und Collimatoren befinden. Der Raum x, der sich seiner südlichen Lage wegen sehr erwärmt, ist durch eine Wand vom Beobachtungslokale geschieden. Die Instrumente der Säle D und E stehen unter kleinen Häuschen, die, wenn nicht beobachtet wird, gegen Staub und Feuchtigkeit schützen und auf Eisenbahnen ruhen, um leicht zur Seite geschoben zu werden, wenn man von den Instrumenten Gebrauch machen will. Über sämtlichen Instrumenten der Säle D, E, F sind Einschnitte durch das Gebäude geführt, die man durch Klappen nach Belieben öffnen und schließen kann.

Aus dem östlichen und westlichen Saale gelangt man durch die Vorhäuser H über die Treppe q in die tiefer liegenden Korridore J der Wohnhäuser, ferner in die Räume r, s, t, die auf der westlichen Seite als Arbeitszimmer des Direktors, auf der östlichen zur Aufbewahrung von Apparaten selteneren Gebrauchs dienen, endlich in die Wartezimmer u und v für die bei den Beobachtungen beschäftigten Astronomen. Beim Haupteingange ist ein gewölbtes Gemach y für Versuche über Uhren-Compensation eingerichtet, in welchem man die Temperatur durch Heizung außerordentlich steigern kann.

Die kreisförmig angeordneten Pfeiler des Saales G, sowie die Ringmauern der Räume r in den Flügeln B und C vereinigen sich in Gewölben, welche Drehtürme und die darunter aufgestellten Instrumente tragen. Die Fußböden der Türme erheben sich in G etwa 20 m, in r etwa 16 m über den Fußboden

des Erdgeschosses. In diese Räume führen die Treppen w und z. Eine perspektivische Ansicht der eigentlichen Sternwarte in Fig. 152 läßt die Gestalt und Anordnung dieser Türme im allgemeinen erkennen. Es drehen sich hier auf Eisenbahnen durch Kurbelwerke nicht die Kuppeln, sondern die ganzen Häuschen, welche über den Galerien der Türme stehen. Die Mauern der Gemächer u und v, sowie des achteckigen Raumes, der den Saal G umgiebt, setzen sich zu einem Halbstockwerke fort, das zur Wohnung für fremde Astronomen, Erweiterung der Bibliothek u. dgl. dient und überdies Wartezimmer für die in den Türmen Beschäftigten enthält. In dem mittleren, größten Turme befindet sich der 38 cm Öffnung und 6·8 m Brennweite haltende Refraktor von Merz und Mahler;

Fig. 152.



im östlichen Turme das Heliometer von 19 cm Öffnung, ebenfalls aus der Werkstätte von Merz und Mahler.

Sowohl die mit Blech gedeckten Flügel D, E und F als die eigentlichen, mit geteerter Leinwand überzogenen Türme sind aus Rücksichten der Temperatur und Feuchtigkeit aus Holz gebaut und ebenso gedielt; eine Einrichtung, die in dem Petersburger Klima notwendig ist und bei den Kräften, die der Anstalt auch zur nächtlichen Bewachung des Gebäudes verfügbar sind, hier die sonst zu fürchtende Feuersgefahr nicht hat. Sämtliche Räume der Sternwarte sind für besondere Fälle, wenn z. B. im Winter Reparaturen an den Instrumenten auszuführen wären, heizbar durch Öfen, die sich in den Souterrains befinden und die erwärmte Luft in dem ganzen Gebäude durch Kanäle verbreiten, ohne die Schornsteine in eine schädliche Nähe des Observatoriums zu bringen.

Der oben erwähnte Merz'sche Refraktor von 38 cm war nicht nur bei seiner Aufstellung, sondern blieb auch durch eine lange Reihe von Jahren das kräftigste dioptrische Instrument der Welt. Erst in den letzten Decennien wurde

er durch die vorzüglich in England und Amerika gebauten Riesenrefraktoren darin, und zwar sehr erheblich überflügelt. Um nun das Observatorium auch in dieser Richtung wieder vollständig auf die Höhe der Zeit zu heben, bewog um 1880 der damalige Direktor der Anstalt O. v. Struve die russische Regierung, für dieselbe ein Fernrohr anzuschaffen, das die größten bis dahin gebauten noch um ein Geringes übertraf (vgl. § 6, S. 886). Das Objektiv dieses Fernrohrs ist von Alvan Clark, die Montirung von Repsold und das Instrument in einem auf dem Territorium der Sternwarte eigens hierfür errichteten Drehturme aufgestellt. Ebenso wurde die Anstalt, den Anforderungen der fortschreitenden Wissenschaft entsprechend im Laufe der Zeit mit Apparaten zu photometrischen Untersuchungen, sowie vorzüglichen Spektralapparaten nebst allem nöthigen Zubehör ausgerüstet.

Die zahlreichen kleineren Instrumente, mit welchen das Observatorium überreich versehen ist, wollen wir nicht spezieller anführen, sondern nur noch bemerken, daß dasselbe auch eine vorzügliche Bibliothek besitzt, die schon zu Ende des Jahres 1858 gegen 20 000 Nummern zählte.

Obschon Grund und Boden, als ehemals zu einer kaiserlichen Domaine gehörend, ein großmütiges Geschenk des Hofes war, kostete doch der Bau und die Einrichtung der Sternwarte zu Pulkowa etwa 2 Millionen Kronen österreichische Währung. Das jährliche Budget beträgt beiläufig 36 000 Kronen, wovon etwa 12 000 für besondere wissenschaftliche Zwecke bestimmt sind, das Übrige auf Besoldungen, Unterhaltung der Gebäude u. s. w. zu rechnen ist. Bei vollständiger Besetzung sind an der Sternwarte angestellt: ein Direktor, 4 Adjunkten in ordentlichem, 3 Astronomen in außerordentlichem Dienste; ein Inspektor, ein Mechaniker mit 6, ein Tischler mit 4 Arbeitern, 8 Diener. Überdies sind in der Regel mehrere fremde Astronomen an der Anstalt beschäftigt. Die Anzahl sämtlicher Bewohner beträgt über 100.

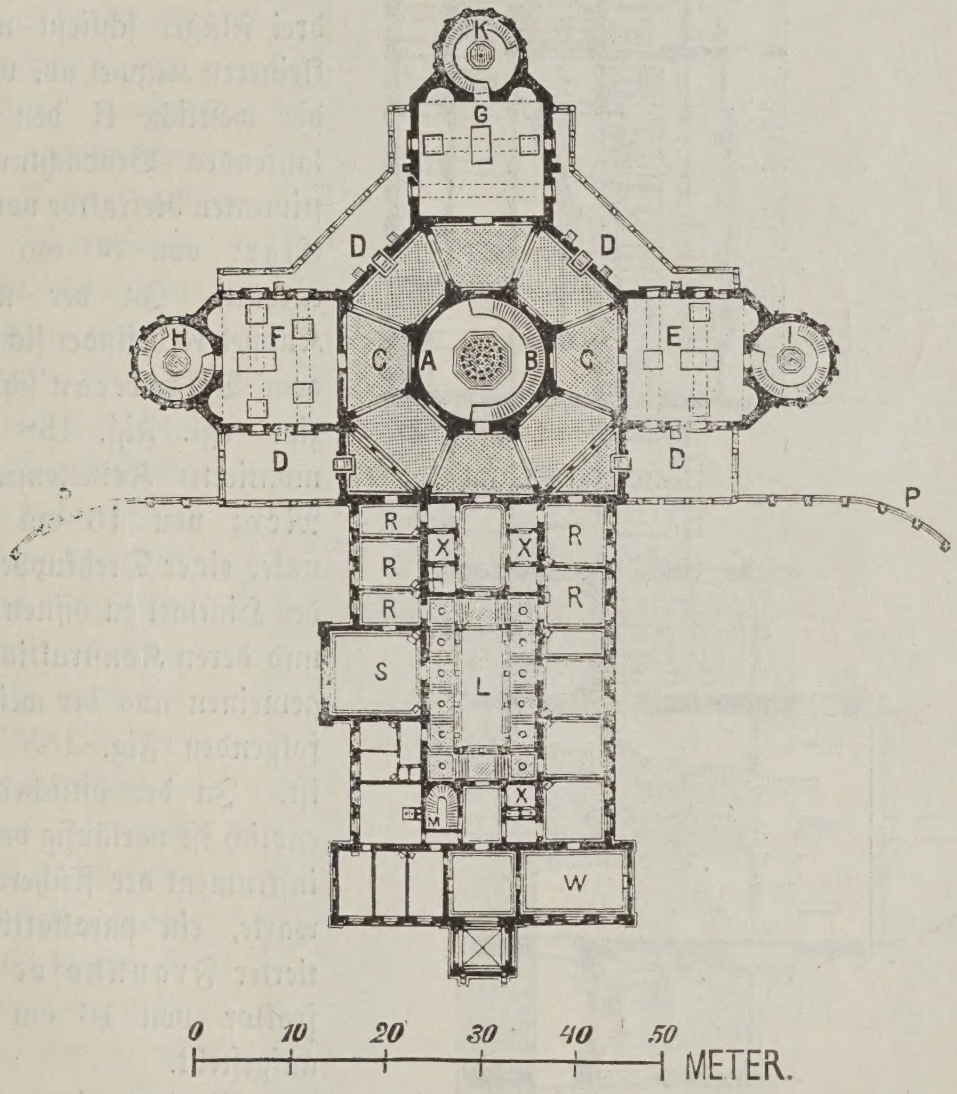
Ein Repräsentant des zweiten Typus von Sternwarten ist die neue Wiener Sternwarte, deren Plan nach den Ideen von K. v. Littrow von den Architekten Fellner und Helmer entworfen wurde. Der Bau derselben begann im Sommer 1874; dessen Vollendung zu erleben war aber ihrem Gründer, der die Errichtung einer neuen, den Bedürfnissen der Jetztzeit vollkommen entsprechenden Sternwarte in Wien als Hauptziel seines Lebens betrachtete, leider nicht vergönnt. Er starb nach langem Leiden im Herbste 1877 in Venedig, als das äußere Mauerwerk eben erst unter Dach gebracht worden war: die gesamte innere Einrichtung, Aufstellung der Instrumente u. s. w. fiel daher dem Herausgeber dieses Werkes zu.

Die neue Wiener Sternwarte liegt inmitten eines 5·5 Hektare großen Grundkomplexes auf dem südöstlichen Kulminationspunkte einer Anhöhe, die von einem bei der letzten Türkenbelagerung dort befindlichen befestigten Lager noch heute den Namen Türkenschanze führt, und von dem als Centrum der Stadt

geltenden Stefansturme etwas über 4 km, von der neuen Universität aber kaum 3 km entfernt ist. Die Anhöhe erhebt sich 80 m über den mittleren Spiegel der Donau, so daß man der Dunstsphäre der Stadt vollkommen entrückt ist.

Das eigentliche Observatorium zeigt, wie aus dem Grundrisse (Fig. 153) zu ersehen, zunächst in seinem Mittelpunkte eine Kuppel AB für das größte Fernrohr der Anstalt, den von Grubb verfertigten Refraktor von 68 cm Öffnung

Fig. 153.



und 10·5 cm Brennweite. Um diese Kuppel läuft ein ringförmiger Saal C für die beweglichen Instrumente, der nach allen Weltgegenden Austritt auf Terrassen D für Beobachtungen unter freiem Himmel gestattet. Im Osten, Norden und Westen reihen sich Flügel an, von denen zwei, E und F, für Meridianinstrumente, und der dritte G für das Passagenrohr im ersten Vertikal bestimmt ist. Der östliche Meridiansaal E soll seiner Zeit den Hauptmeridiankreis der Anstalt aufnehmen: der westliche F ist mit zwei Einschnitten versehen, unter deren einem der noch von Chr. Starke nach Reichenbach konstruierte

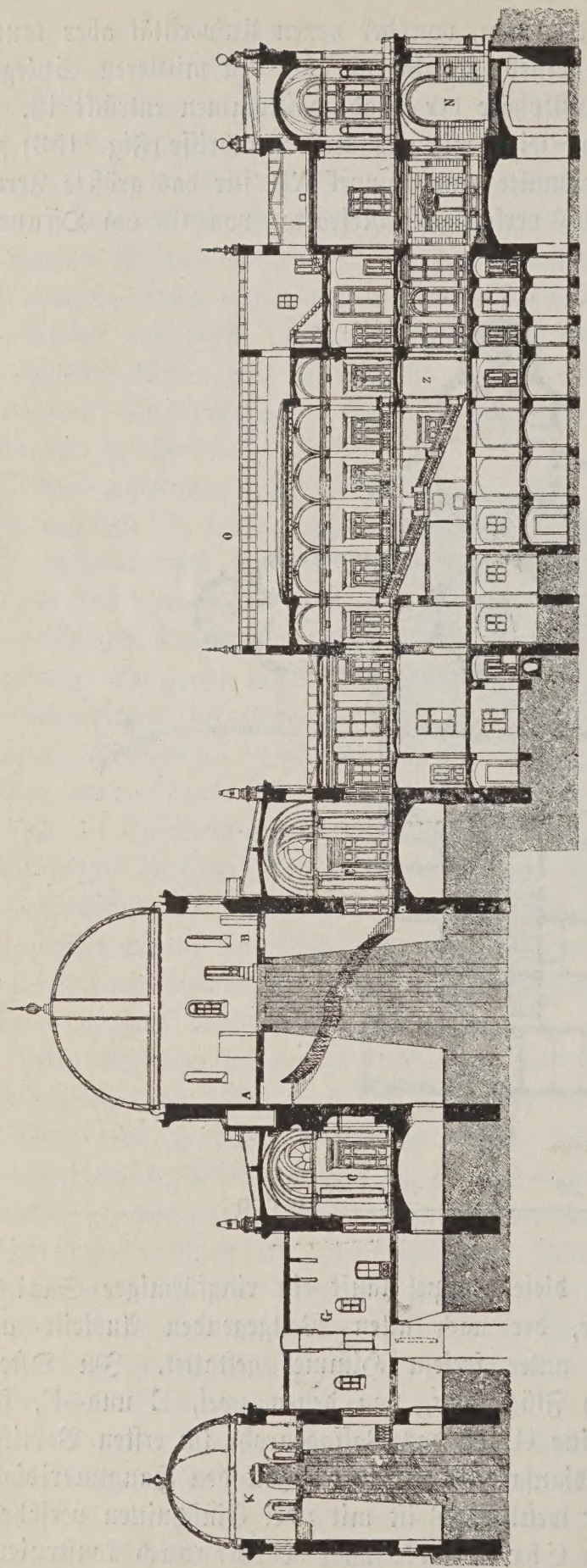


Fig. 154.

Meridiankreis der alten Wiener Sternwarte steht, während unter dem anderen zu Übungen von Eleven oder besonderen Untersuchungen ein portatives Mittagsrohr und ein Höhenkreis untergebracht sind.

Jeder der eben genannten drei Flügel schließt mit einer kleineren Kuppel ab, von denen die westliche H den für die laufenden Beobachtungen bestimmten Refraktor von Alvan Clark von 30 cm Öffnung enthält. In der nördlichen Kuppel K befindet sich ein nach dem Villarceau'schen Prinzipe (vgl. Fig. 138 S. 971) montierter Kometensucher von Merz von 16 cm Öffnung unter einer Drehkuppel, die $^1/_6$ des Himmel zu öffnen gestattet, und deren Konstruktion im allgemeinen aus der weiter unten folgenden Fig. 155 ersichtlich ist. In der östlichen Kuppel endlich ist vorläufig das Hauptinstrument der früheren Sternwarte, ein parallaktisch montierter Fraunhofer'scher Refraktor von 16 cm Öffnung aufgestellt.

Wenden wir uns nun zur Beschreibung des Wohnhauses, so sei zunächst bemerkt, daß der erste Stock des Wohnhauses und das Erdgeschoß des eigentlichen Observatoriums in derselben Flucht liegen, wie dies aus dem Längenprofile (Fig. 154) ersichtlich ist, das einen Durch-

schnitt des Gebäudes in der Ebene des Meridians darstellt. Dieses für die Anstalt insofern sehr günstige Arrangement, als dadurch die Visurlinien nach den Gestirnen hoch über das Dach des Wohnhauses hinwegstreichen, wurde dadurch ermöglicht, daß der Boden, auf dem die Sternwarte steht, einen mäßigen Abfall nach Süden darbietet. Der Grundriß Fig. 153 stellt daher einen Durchschnitt durch das Parterre der Sternwarte und den ersten Stock des Wohnhauses dar. In demselben sieht man das durch Oberlicht erhellte Treppenhaus L und eine kleinere Treppe M, ebenfalls mit Oberlicht, sowie die Arbeitszimmer R der Astronomen und die Bibliothek S in unmittelbarem Anschlusse an die Sternwarte; ferner die Wohnung W des Direktors, und die Lichthöfe X, welche für Ventilation und Erhellung im Innern sorgen. Im Erdge-

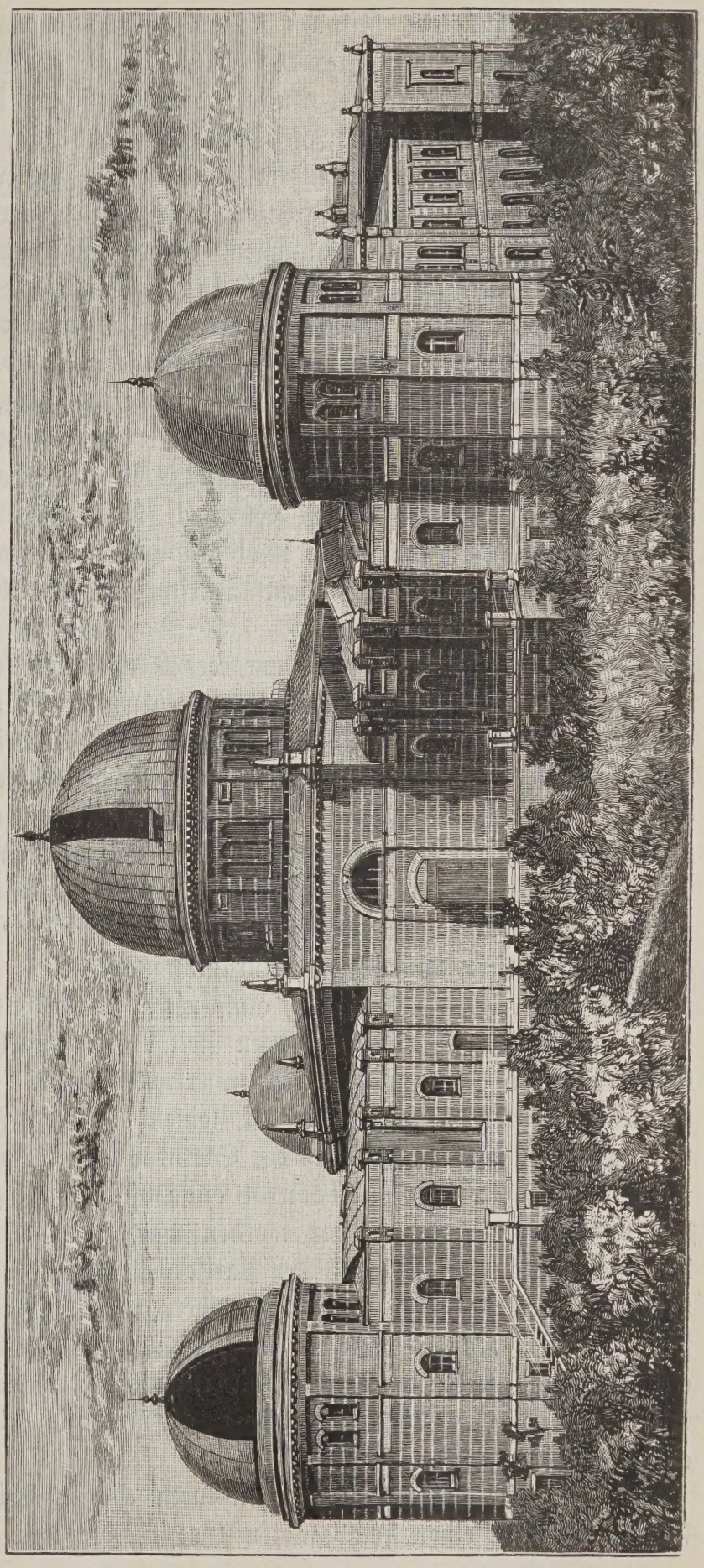


Fig. 155.

schosse des Wohnhauses befinden sich die Wohnungen der beiden Observatoren, der Assistenten und eines Teiles der Diener, sowie ein Gemach für Gäste, welchen man bei der Entlegenheit der Anstalt die Möglichkeit schaffen wollte, Nächte an der Sternwarte zuzubringen. Im Souterrain, das nach außen durch breite Lichtgräben überall freien Luftzutritt hat, und dessen Fenster zu mehr als zwei Dritteilen über den das Haus begrenzenden Boden hervorragen, befinden sich Ergänzungen der Amtsdienerwohnungen, Absteigequartiere für Eleven, ein Uhrengemach, eine Succursale der Bibliothek, eine Werkstätte für mechanische Arbeiten, Wirtschaftslokale u. dgl. Mit dem Rampen P verläuft das Niveau der südlichen Terrassen bis zur Flurebene vor dem Wohnhause.

Im Längenprofile (Fig. 154) haben die von Fig. 153 wiederholten Buchstaben genau dieselbe Bedeutung wie dort: wir wollen daher nur noch hinzufügen, daß sich bei N die gedeckte Zufahrt für den Haupteingang des Gebäudes befindet, und daß bei O das Glasdach über dem Stiegenhause sichtbar ist. Fig. 155 endlich ist nach einer photographischen Aufnahme der Sternwarte entworfen, die von einem auf dem Territorium derselben im Westen gelegenen Hügel genommen wurde.

Der Bau und die Einrichtung der Sternwarte kosteten in runder Summe zwei Millionen Kronen österreichischer Währung (etwa 1 670 000 Mark). Davon entfallen, wieder in runden Summen, auf die Grundeinlösung 400 000 Kronen; auf die kostspielige Regulierung des Niveaus, die Gartenanlage und Umfassungsmauer etwa 160 000 Kronen, auf die Anschaffung von 3 neuen Instrumenten [den großen Refraktor von Grubb (8000 Pfd. Sterling), den Refraktor von Alvan Clark (6000 Dollars) und den Kometensucher in der Nordkuppel (7000 Kronen)] beiläufig 240000 Kronen, und nur der Rest von 1200000 Kronen auf die eigentlichen Bau- und Einrichtungskosten.

Bei dieser Gelegenheit soll auch nicht unerwähnt bleiben, daß die neue Wiener Sternwarte seit der kurzen Zeit ihres Bestehens sich bereits zweimal reicher Schenkungen von Privaten zu erfreuen hatte. Die erste rührt vom Freiherrn Albert v. Rothschild her, einem eifrigen Förderer und Mäcen der Wissenschaften überhaupt und der Sternkunde insbesondere, welcher die Anstalt mit einem Äquatorial-Coudé von 38 cm Objektivöffnung bereicherte, dem größten, das bis zu jener Zeit gebaut worden war, und das auch heute noch nur von dem neuen Äquatorial-Coudé der Pariser Sternwarte an Dimensionen übertroffen wird. Damit begnügte sich aber Freiherr v. Rothschild nicht: er ließ auch auf seine eigenen Kosten das zur Aufstellung des Instruments nötige Gebäude errichten, und widmete überdies die entsprechenden Fonds zur Erhaltung seiner Stiftung, so daß diese Schenkung auf reichlich 150 000 Kronen zu veranschlagen ist.

Die zweite Schenkung stammt vom Hofrat Biela, welcher im Einverständnisse mit seiner hochbegabten Gattin, die ihm bei seinen astronomischen

Beobachtungen stets helfend zur Seite stand, seine mit vorzüglichen Instrumenten aller Art reichlich ausgestattete Privatsternwarte dem Wiener Observatorium testamentarisch vermachte.

In der jüngsten Zeit hat man bei der Anlage von Sternwarten mehrfach nicht nur das Wohnhaus vom eigentlichen Observatorium getrennt, sondern auch für die Hauptinstrumente gesonderte Gebäude errichtet, die höchstens durch Korridore unter einander und mit dem Wohnhause in Verbindung stehen. Beispiele hierfür liefern uns das astrophysikalische Observatorium in Potsdam und die Sternwarten in Straßburg und Nizza, deren letztere vom Bankier Bischoffsheim erbaut wurde. Man wurde dabei von der Idee geleitet, daß die Verbindung des Wohnhauses mit der eigentlichen Sternwarte, ja sogar auch die der einzelnen Beobachtungsräume unter einander Luftströmungen veranlassen dürfte, welche möglicherweise Unregelmäßigkeiten in der Refraktion zu erzeugen, oder die Güte der Bilder zu beeinträchtigen u. dgl. im Stande wären. In theoretischer Beziehung läßt sich nun allerdings nicht bestreiten, daß die Nähe von Schornsteinen und eines größeren Dächerkomplexes überhaupt Luftströmungen bedinge; wohl aber läßt sich füglich bezweifeln, ob diese bei zweckmäßiger Anordnung des Gebäudes praktisch überhaupt merkbar werden können. Außerdem wird erst eine längere Erfahrung lehren, ob die größere Entfernung der Beobachtungs- und Wohnräume unter einander während unseres rauhen Winters nicht Nachteile im Gefolge hat, welche die Vorteile, die man damit zu erreichen hofft, überwiegen.

Wir haben so an mehreren glänzenden Beispielen die Hilfsmittel kennen gelernt, deren der Astronom zur Ausübung seines Faches bedarf. Keine andere Wissenschaft erfordert einen so kostspieligen Apparat, keine ist in gleichem Maße abhängig von materieller Unterstützung. Die staunenswerten Fortschritte, deren sich die Sternkunde rühmt, verdankt sie deshalb hauptsächlich der Liberalität, mit der sie zu allen Jahrhunderten — nicht etwa bloß in der Vorzeit, wo der Astronom als Astrolog sich geltend machen konnte, sondern auch in unseren wegen ihrer utilitarischen Richtung so verrufenen Tagen — gepflegt wurde, und in dieser Liberalität wetteifern gerade bei unserer Wissenschaft Regierungen und Private in erfreulicher Weise mit einander. In betreff der Regierungen haben wir unseren Lesern soeben zwei hervorragende Beispiele dieser Art ausführlicher vorgeführt, und wollen uns daher mit diesen beiden begnügen. In betreff von Privaten wollen wir nur hervorheben, daß das erste Riesenfernrohr der Neuzeit von Newall, einem reichen Privatmann zu Gateshead bei Newcastle aufgestellt wurde, und daß die mit den größten Refraktoren ausgerüsteten Sternwarten zu Nizza, am Mount Hamilton, und das Yerkes Observatory durch Stiftungen von Privaten errichtet wurden und erhalten werden. Allein nicht bloß Sternwarten wurden auf diese Art gegründet: der Sternkunde flossen auch reiche Fonds Privater zu, aus denen schon vielfach astronomische Untersuchungen ins Leben

gerufen oder unterstützt, Publikationen zum Druck befördert und Expeditionen in ferne Länder entsendet werden konnten.

§ 50. (Wichtigkeit des astronomischen Liebhabertumes.) In einem Werke, wie dem vorliegenden, bedarf es wohl nicht erst umständlicher Erörterungen, um den wohlthätigen Einfluß nachzuweisen, den völlig freiwillige und unabhängige Pfleger der Astronomie, die in dem Fache eben nur eine Lieblingsbeschäftigung suchten, durch ihre eigenen und die Arbeiten ihrer Gehülfen auf die Entwickelung dieser Wissenschaft genommen haben. Es genügt völlig, wenn wir nur Namen wie F. Baily, Hevel, Schröter, Huggins, Warren, de la Rue, Joh. und Dav. Fabricius, Schwabe, R. Carrington, William, John und Karoline Herschel, Horror, Olbers, Hencke, Goldschmidt, Palitzsch, Galloway, Biela, Dawes, Rosse, W. Gascoigne, Lassell und so viele andere anführen, die sämtlich Volontären der Wissenschaft gehören und mit denen, wie wir aus Obigem wissen, die Erinnerung an wichtige Fortschritte der Astronomie unzertrennlich verbunden ist, um sofort dem Leser klar zu machen, daß man ohne den Beistand des Liebhabertumes in diesem Fache um Jahrhunderte zurückgesetzt wäre. Wir sagen, in diesem Fache; denn wir sind der Meinung, daß keine andere Naturwissenschaft sich solcher ergiebigen Unterstützung durch freiwillige Arbeiter erfreut. Wir wollen damit keineswegs zu einer Schilderung der oft besprochenen Erhabenheit des Gegenstandes ausholen, mit welchem die Himmelskunde sich befaßt; denn diejenigen, die in astronomischen Beschäftigungen nur das Vergnügen suchen, sich an der Schönheit einer sternhellen Nacht zu weiden, sind nicht die Männer, denen die Wissenschaft ein dankbares Andenken weiht; nur die mühevolle Vertiefung in Einzelheiten nützt, bringt Ruhm und Ehre, im Detail aber ist die Natur nach jeder Richtung bewunderungswürdig und fesselt überall den sie Verstehenden. Ovid's schöne Worte:

Os homini sublime dedit, coelumque tueri
Jussit, et erectos ad sidera tollere vultus,

haben ihren bildlichen Sinn nahezu verloren, seit das Mikroskop uns die Wunder der Schöpfung so gut erschließt, wie das Fernrohr. Wir finden vielmehr die Ursache der Erfolge des Liebhabertumes der Astronomie zunächst in der Zugänglichkeit dieser Wissenschaft. Welche andere Doctrin kann sich einer gleichen Anzahl trefflicher populärer Schriften rühmen? Von Fontenelle, Lambert und Laplace bis auf unsere Tage bilden dieselben nachgerade eine selbständige Litteratur, und es würde schwer halten, irgend einen bekannteren Namen unter den Astronomen des eben abgelaufenen Jahrhunderts anzuführen, der sich in dieser Richtung nicht auch versucht hat. Diese Häufigkeit solcher nichts weniger als leichten, gemeinfaßlichen Darstellungen rührt nicht etwa von einer besonderen Liebenswürdigkeit der Astronomen her; die Männer des Berufes sind überall geneigt, der innungsstolzen und bequemen Maxime: „arcere vulgus“ zu huldigen und dieselbe so zu deuten, daß im allgemeinen eben nur, wer zur Gilde gehört,

zu den Ihrigen zählt. Es ist hier die Wesenheit des Faches, welche den Gelehrten gestattet, aus ihrer Studierstube herauszutreten und den Kern der Wahrheiten, die sie oder andere gefunden, möglichst entkleidet vom Nimbus der Kunstsprache, dem Laien mitzuteilen; solchen, jedem Gebildeten verständlichen Behandlungen fügen sich nämlich bloß jene Wissenschaften, die sich eines obersten Grundsatzes erfreuen und daher in ihrem eigentlichen Gerippe nur eine ununterbrochene Kette von Schlüssen bilden. Die Astronomie rühmt sich dieser Beschaffenheit seit Jahrhunderten; dadurch hat sie in jeder Beziehung so großen Vorsprung vor den anderen Naturwissenschaften gewonnen, die neuester Zeit in demselben Maße ähnliches Streben nach gemeinfaßlichen Darstellungen zu äußern beginnen, in welchem sie der Periode des Mystischen oder der bloßen Anhäufung von Thatsachen sich entwinden. Derselben Richtung des Populärisierens begegnen wir in anderer Weise auf streng wissenschaftlichem Gebiete: der Astronom hat so viele mechanische Operationen im Rechnen wie im Beobachten auszuführen, bevor er zu Resultaten gelangt, daß er von jeher darauf bedacht war, durch Kunstgriffe aller Art jene Vorarbeiten abzukürzen; er hat überdies für Praktiker im eigentlichen Sinne des Wortes, für den Nautiker, den Feldmesser, den Geographen zu sorgen, die sich nicht damit begnügen, wenn man ihrer Wirksamkeit überhaupt neue Wege zeigt; dieselben müssen so bequem als möglich sein, sollen sie überhaupt beschritten werden. So kommt es, daß an sich sehr verwickelte Arbeiten in einer Weise vereinfacht werden, die nichts zu wünschen übrig läßt, daß Instrumente zum Gebrauche einladende Formen annehmen und auch den weniger Bemittelten erreichbar werden. Unsere Methoden, unsere Ephemeriden und Tafeln führen die meisten Aufgaben auf elementare arithmetische Verfahren zurück. Eine heitere Stunde giebt heute die geographische Lage eines Ortes mit größerer Präzision, als früher monatelang fortgesetzte Beobachtungen. An die Stelle der unbehilflichen astronomischen Werkzeuge, die z. B. noch Karstens Niebuhr auf Kameelen fortschaffen mußte, sind kleine, den Reisenden kaum beirrende Instrumente getreten, ohne der Genauigkeit irgend Eintrag zu thun, ja mit bedeutendem Gewinne für dieselbe. Die Errichtung einer Sternwarte fordert nicht mehr wie ehemals notwendigerweise einen dem Einzelnen nur selten möglichen Aufwand, die Anstalt ist also auch nicht mehr an die Scholle gebunden, wo sie eben entstand: als Lassell von Starfield bei Liverpool durch den Kohlendampf vertrieben wurde, wanderte er mit seinem Observatorium zwei Meilen weiter nach Broadstones; Dawes wohnte zuerst in Ormskirk, dann zu Cranbrook, später zu Wateringbury, endlich zu Haddenham, aber überall hin begleitete ihn seine Sternwarte; ja man kann heute sogar an portative Observatorien denken, wie denn Thomas Dell ein solches von sehr zweckmäßiger Einrichtung ersonnen hat. Ein gutes Fernrohr und eine zuverlässige Uhr in freier ruhiger Lage können, richtig gebraucht, oft zu den schönsten Ergebnissen führen. Kein Fach ferner gewährt vielleicht so sehr wie das unsere die Befriedigung, die im Fördern, im Erzielen von Erfolgen liegt;

kein Fach bietet so oft wie dieses die Erfrischung der unbestreitbaren Bestätigung unserer Ansichten; kein Fach läßt wie das unsrige die Natur fast immer selbst und im Großen experimentieren, erspart uns beinahe ganz die störenden Mühseligkeiten, welche eigentliche Versuche unausweichlich begleiten; die Astronomie fordert von ihren Jüngern nicht, daß sie ein uns angeborenes Grauen vor Leichen überwinden, daß sie abenteuerliche Reisen unternehmen, daß sie lebensgefährliche Experimente anstellen. Vor allem aber hat die Astronomie einen Vorteil gegenüber den übrigen Naturwissenschaften, der hier von großer Bedeutung ist: die völlige Freiheit von der Kalamität der Terminologien und Klassifikationen. Während andere Naturforscher unter der Wucht dieses, man möchte sagen, administrativen Teils ihrer Thätigkeit beinahe erliegen und eben deshalb häufig in demselben aufgehen, ist dem Astronomen diese deprimirende Aufgabe ganz und gar abgenommen. Der Begriffe Klasse, Ordnung, Familie, Gattung, Art und wie die unzähligen Abteilungen alle heißen, deren andere Fächer für die Instandhaltung ihres wissenschaftlichen Haushaltes bedürfen, kann der Astronom sich völlig entschlagen. Die Sorglosigkeit des Astronomen in Feststellung generischer Unterschiede, ja der Kunstausdrücke überhaupt, die ergötzliche Verwirrung, welche in dieser Beziehung in unserer Wissenschaft mitunter herrscht, zeigen, wie wenig dem Astronomen an diesen Dingen liegt. Delambre nennt irgendwo die Kometen Planeten einer besonderen Art; er hätte eben so gut die Planeten eine besondere Gattung von Kometen nennen können, ohne weiter Widerspruch zu finden. Wir kennen selbstleuchtende Planeten und haben alle Ursache, die Existenz dunkler, stillstehender Centralkörper anzunehmen. Für den Astronomen hat nicht die Gattung, sondern nur das Individuum Bedeutung. Dieses aber kennzeichnet er durch den Ort, an welchem er es zu einer bestimmten Zeit traf. Er hat ein großes Fachwerk angelegt, das ihm das ganze unermeßliche Himmelsgewölbe repräsentiert, in welchem jedes beobachtete Objekt seinen besonderen Platz erhält, den es zwar im Laufe der Jahre ändert, aber nach bestimmten, uns genau bekannten Gesetzen, so daß nie Unordnung entsteht. Der Astronom bedarf also auch der Myriaden von Namen nicht, die andere Wissenschaften zu ihren Plagen zählen, wie wohl am schlagendsten daraus hervorgeht, daß selbst die relativ geringe Anzahl von Namen und Titeln, mit denen die Alten einzelne helle Fixsterne und Sterngruppen beehrten, längst nahezu alle der Geschichte überantwortet worden sind. Dieser, wie uns scheint, wichtige Unterschied der Astronomie von anderen naturhistorischen Fächern begründet nicht etwa einen geringeren Umfang der Aufgabe, welche ihr vorliegt; denn gerade dadurch, daß sie die Individuen kennen zu lernen hat, wird ihr Gebiet ganz eigentlich unübersehbar, und man kann mit Sicherheit einer nicht eben fernen Zukunft entgegensehen, wo die, in den Bereich der Untersuchung gezogene Zahl von Himmelsobjekten weit über die der bekannten Arten von Tieren, Pflanzen u. s. w., so riesig diese letztlich auch angewachsen ist, hinausgehen wird; aber dieses Kennenlernen der Individuen ist ein den Geist

anregendes, unmittelbares Beschäftigen mit der Natur; die Astronomen sammeln, so zu sagen, nur und kümmern sich um das ermüdende Nomenklieren und Klassifizieren nicht, das immer mehr oder weniger ein Eingehen in die Natur der Dinge voraussetzt, das dem Menschen nur in sehr geringem Maße gestattet, dessen aber der Astronom im allgemeinen ganz enthoben ist. Diese Frage nach den letzten Gründen durchzieht überhaupt das ganze Gewebe anderer Naturwissenschaften und erlaubt dort nicht wie in der Astronomie einzelne Teile des Faches völlig abgesondert von andern zu behandeln. Deshalb stehen denn auch jene keineswegs anziehenden Einleitungen in das Studium anderer Zweige der Naturforschung überdies auf schwankendem Boden, während die analoge Beschäftigung des Astronomen auf unverbrüchlichen, für immer feststehenden Normen fußt, und so heißt es im Gegensatze zu sonstigen Aussprüchen hier: „Die Gattung vergeht, das Individuum besteht" — eine Seite des Faches, die wieder nicht wenig dazu beitragen muß, ihm Liebhaber zuzuführen. Denn nirgends sonst ist die Palme der Unsterblichkeit so sicher und mit verhältnismäßig so leichter Mühe zu gewinnen, da das dankbare Feld der Entdeckungen das eigentliche Gebiet des Dilettantismus ist. Der Astronom von Profession soll nur, wenn er besondere Gründe dazu hat, sich aufs Entdecken im engsten Sinne des Wortes legen, denn es sind ihm Helfer und Mittel zur Verfügung gestellt, die ihm schwierigere Aufgaben zuweisen. Der Dilettant kann nach Lust und Liebe den Gegenstand seines Strebens wählen: welches Ziel er immer mit Ausdauer verfolgt, man wird die Früchte seiner Mühen willkommen heißen. Das Korps der Dilettanten hat wie alle Freikorps mehr Schwung, als die Männer des Berufes. Dieser bringt einen gewissen Schematismus mit sich, im Verhalten der Gelehrten wie im Reglement des Militärs, einen Schematismus, der notwendig und die Grundlage des ganzen Wesens ist, von dessen Schattenseiten freier zu sein der Volontär aber immerhin sich rühmen kann. In dieser Ungebundenheit liegt indessen auch die Gefahr der Zügellosigkeit, die dort, wo sie ungehindert wuchert, den Dilettanten zur Qual des Fachmannes macht. Das Heer derer, die da, wie Sir John Herschel sich einmal sehr treffend ausdrückte, jede Wissenschaft, welche sie nicht kennen, für eine eben entstehende halten und sich z. B. sofort anschicken, den Grundbau der Astronomie durch von ihnen erdachte Weltsysteme neu zu legen, die da glauben, astronomische Wahrheiten ließen sich eben auch ohne alle Vorkenntnisse erraten, das Heer dieser Freiwilligen hat es zu verantworten, wenn manche Leute vom Handwerk die Berührung mit Dilettanten scheuen. Wo aber viel Korn geerntet wird, muß es auch viel Spreu geben, und in der That verleitet die Astronomie, obschon gerade sie die erste unter ihren Schwestern den richtigen Weg der Forschung betrat, mehr als irgend eine andere Wissenschaft die Geister zu eitlen Träumen, zu Aristotelischen Anticipationen, — ein Weg, den heute zu betreten ebenso bedenklich ist, als es einst gefährlich war, davon abzuweichen. Die Bestrebungen der Dilettanten sind der großen Mehrzahl nach rieselnden Gewässern zu ver-

gleichen, die, nicht beachtet und sich selbst überlassen, im Sande verrinnen, ja Schaden bringen und das Land versumpfen, gesammelt und geregelt, den berechtigten Strömen an Nutzen um nichts nachstehen. Daraus ergiebt sich von selbst die Richtschnur des gegenseitigen Verhaltens zwischen Profession und Liebhabertum, das unter günstigen Verhältnissen wie in England geradezu die Pflanzschule für jene werden kann. Wofern dem Dilettanten Ernst und Beharrlichkeit nicht fehlen, soll und darf ihm die Hilfe des Mannes vom Berufe nicht entgehen. Erfüllt er diese Forderung, so kann er auch des Erfolges gewiß sein; denn die Schachte, die es hier zu bearbeiten gilt, sind unerschöpflich, und der aufmerksame Forscher kann immer auf das, was wir Glück nennen, zählen. Hätte Kepler sich nicht zufällig an Mars gehalten, dessen Ungleichheiten auch den damaligen Beobachtungsmitteln schon zugänglich waren, hätte William Herschel Uranus 11 Tage früher erblickt, wo dieses Gestirn stationär und folglich kaum als Planet zu erkennen war, so würden die glänzenden Entdeckungen, welche sich an diese Namen knüpfen, wahrscheinlich auf lange Zeit verschoben worden sein; Bradley und W. Herschel bemühten sich umsonst, die Parallaxe der Fixsterne zu finden, allein die großen Arbeiten, welche sie zu diesem Zwecke unternommen, wurden gekrönt durch die unerwarteten Entdeckungen der Aberration des Lichtes und planetarischer Sonnen. Wem aber ein astronomischer Fund von auch nur einiger Erheblichkeit gelang, der mag sich der sorglichsten Teilnahme versichert halten und darf das Unbeachtetbleiben nicht fürchten, das ihm vielleicht in anderen Wissenschaften droht; denn nirgend sonst ist die Gemeinsamkeit aller Leute vom Fache an Arbeiten jeder Art so eingebürgert. Die Gefahr im Verzuge auf der einen, die Möglichkeit, dasselbe Objekt von tausend Orten zugleich zu untersuchen, auf der anderen Seite, setzen in der Astronomie immer eine Hemisphäre auf die Fährte alles Neuen.

Elemente

der

Planeten, Satelliten und Kometen

unseres

Sonnensystems.

Übersicht des Planetensystems.

Bei der Zusammenstellung der wichtigsten Elemente der Planeten und Satelliten unseres Sonnensystems beginnen wir in der Tafelgruppe A. mit den großen Planeten. Darin enthält Tafel A. I. zunächst die mittleren Entfernungen von der Sonne, oder die halben großen Achsen der Bahnen in mittleren Entfernungen der Sonne von der Erde angegeben. Sie sind aus den in der fünften Kolumne dieser Tafel mitgeteilten siderischen Bewegungen nach dem genauen Ausdrucke des dritten Keppler'schen Gesetzes, also nach der Formel: $a^3 = \frac{12\,589\,635\,(1+m)}{\mu^2}$ abgeleitet, in der a die Halbachse, μ die mittlere tägliche siderische Bewegung und m die Masse des Planeten in Teilen der Sonnenmasse ausgedrückt (A. IV. Kol. 1) vorstellt.

Unter der Annahme einer Sonnenparallaxe von 8·85″ (vgl. S. 341), sind diese halben großen Achsen mit 148 636 000 zu multiplizieren, um Kilometer, oder mit 20 028 900, um geographische Meilen zu erhalten.

Die nächste Kolumne Excentricität giebt das Verhältnis der Distanz des Brennpunktes vom Mittelpunkte der betreffenden Ellipse zur halben großen Achse derselben. Um also die Distanz selbst zu erhalten, müßte man die Zahlen dieser Kolumne mit den bezüglichen der ersten Kolumne multiplizieren. Das Resultat wäre wieder in Einheiten der mittleren Entfernung der Sonne von der Erde zu verstehen und, um in Kilometern zu erscheinen, noch mit 148 636 000 zu multiplizieren.

Zu den folgenden Kolumnen ist zu bemerken, daß wohl die wieder in Einheiten der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne angeführten größten (E) und kleinsten (e) Entfernungen der Planeten von der Sonne genau berechnet sind, indem nämlich, wenn a und ε Halbachse und Excentricität der Planetenbahn bedeuten:

$$E = a\,(1+\varepsilon); \qquad e = a\,(1-\varepsilon)$$

ist, daß hingegen, die in Millionen von Kilometern angegeben größten (D) und kleinsten (d) Entfernungen von der Erde blos als beiläufig zu verstehen sind,

da die ziemlich weitläufige Berechnung dieser Daten kaum der Mühe lohnen würde. Es wurde nämlich angenommen, für die beiden inneren Planeten Merkur und Venus:

$$D = 148{\cdot}6 + E \qquad d = 148{\cdot}6 - E$$

für alle anderen äußeren

$$D = E + 148{\cdot}6 \qquad d = e - 148{\cdot}6$$

wobei, wie oben 148·6 die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne in Millionen Kilometern ist.

Die vierte Kolumne dieser Tafel enthält als „Epoche" d. h. als Ort des Planeten in seiner Bahn zu einem bestimmten Momente, den Zeitpunkt seines letzten Periheldurchganges in unserem Jahrhunderte auf Zehnteile eines Tages genau angesetzt. Die letzte Kolumne endlich giebt die konstante tägliche Bewegung des mittleren Planeten in der Ebene seiner Bahn.

Tabelle A. II. enthält in den ersten drei Kolumnen die Umlaufszeiten in Bezug auf einen fixen Punkt (siderisch) und auf die Nachtgleichen (tropisch) in mittleren Tagen, in Bezug auf die Sonne (synodisch) in julianischen Jahren (zu 365·25 Tagen), Tagen und Stunden (vgl. S. 159 bis 161). In den letzten 3 Kolumnen findet man noch die übrigen Bahnelemente (S. 158) nämlich: die Länge des Perihels, die Länge des aufsteigenden Knotens und die Neigung der Bahnebene gegen die Ekliptik.

In Tabelle A. III. werden zunächst die säkularen Änderungen angeführt, welche die Elemente der einzelnen Planeten durch die Störungen der übrigen erleiden. Daran schließt sich in der sechsten Kolumne die mittlere Geschwindigkeit derselben bei der Bewegung um die Sonne in einer Sekunde welche, wenn k die Charakteristik unseres Sonnensystems (vgl. S. 153) und wie früher a die halbe große Achse der Planetenbahn bedeutet, gegeben wird durch den Ausdruck:

$$v = \frac{k}{\sqrt{a}} = \frac{29{\cdot}593}{\sqrt{a}} \text{ Kilometer.}$$

Der Fallraum des Planeten gegen die Sonne in der vorletzten Kolumne dieser Tafel ist nach der Formel $F = \frac{v^2}{2a}$ berechnet, wo v die frühere Bedeutung hat, und ergiebt sich damit in der ersten Sekunde zu:

$$F = \frac{2{\cdot}945}{a^2} \text{ Millimeter.}$$

Die letzte Rubrik endlich giebt die Größe $\frac{1}{a^2}$ als Licht und Wärmeintensität auf dem Planeten in seiner mittleren Entfernung.

Von den Zusammenstellungen auf Tafel A. IV. und V. bedürfen nur wenige einer Erläuterung. So sei in Bezug auf die Angaben der Tafel A. IV. erwähnt, daß bei der Berechnung der Oberfläche und des Volumens die Abplattung außer

bei der Erde nur noch bei Jupiter und Saturn berücksichtigt ist, weil bei den übrigen Planeten über dieselbe noch nichts sicheres bekannt ist. Bedeutet nun a den Äquatoreal-, b den Polardurchmesser, so ist das Volumen V des Planeten, diesen als Rotationsellipsoid betrachtet: $V = \frac{1}{6} a^2 b \pi$.

Bei der Berechnung der Oberfläche hielt man es aber für genügend, als Oberfläche die jener Kugel anzugeben, deren Kubikinhalt dem des Rotationsellipsoides gleich kommt, mit andern Worten jener Kugel, deren Durchmesser $\delta = \sqrt[3]{a^2 b}$ beträgt.

Bezeichnet man weiter mit M, V und D die Masse, das Volumen und den Äquatorealdurchmesser eines Planeten in Teilen der Masse, des Volumens und des Äquatorealdurchmessers der Erde (Tafel A. IV. Kol. 3, 8 und 12) so ergiebt sich die Dichte desselben, und das Verhältnis der Schwere auf dessen Oberfläche zur Schwere auf der Oberfläche der Erde (Tafel A. V. Kol. 2 und 4) aus den Formeln $\frac{M}{V}$ und $\frac{M}{D^2}$. Dabei ist jedoch zu bemerken daß oben als Masse der Erde die Masse des Erdsystems, d. i. der Inbegriff der Masse der Erde und des Mondes angeführt ist, und daß bei diesen Berechnungen die Masse der Erde allein anzuwenden ist, welche sich auf 1 : 326 800 beläuft. Ferner beziehen sich das Verhältnis der Schwere, und die daraus durch einfache Multiplikation mit 4·9072 erhaltene Fallhöhe in Metern während der ersten Sekunde (A. V., 5) auf den Äquator, und sind ohne Berücksichtigung der Fliehkraft, welche bei den äußeren Planeten nicht unbedeutend ist, berechnet. Will man die letztere, die für jene Körper, deren Rotationsdauer bekannt ist, in der folgenden, sechsten Kolumne sich findet, berücksichtigen, und so die an der Oberfläche thatsächlich auftretenden Größen erhalten, so hat man die Zahlen der früheren beiden Kolumnen nur um diesen Bruchteil zu vermindern. So ist z. B. für Saturn:

$$\text{wirkliche Schwere: } 1{\cdot}00 - \frac{1}{6} \cdot 1{\cdot}00 = 1{\cdot}00 - 0{\cdot}17 = 0{\cdot}83$$

$$\text{“ Fallhöhe: } 4{\cdot}91 - \frac{1}{6} \cdot 4{\cdot}91 = 4{\cdot}91 - 0{\cdot}82 = 4{\cdot}09$$

Nach diesen Bemerkungen wollen wir hier noch die Quellen anführen, aus denen die nachstehenden Angaben genommen wurden.

Die Elemente der 4 inneren Planeten (Merkur, Venus, Erde und Mars) sind Newcomb's Ende 1895 erschienenen Untersuchungen über die Bahnen dieser Planeten entlehnt; die von Jupiter und Saturn den Tafeln Le Verrier's in den Memoiren der Pariser Sternwarte, und die von Uranus und Neptun, Newcomb's Tafeln dieser Planeten. Die Elemente sind jedoch von der allen eben genannten Tafeln zu Grunde liegenden, schon sehr entfernten Epoche 1850·0 mit Berücksichtigung der Säkularvariationen auf das mittlere Äquinoktium des Jahres

1900·0 übertragen. Auch die jährlichen Änderungen der Elemente (A. IV.) sind denselben Quellen entnommen: sie gelten daher streng genommen nur für jene Planetenmassen, die bei der Konstruktion der betreffenden Tafeln zu Grunde gelegt wurden, und die zum Teil von den angegebenen Planetenmassen (A. IV.) nicht unerheblich differieren. Der daraus resultierende Unterschied ist indes für die Zwecke der vorliegenden Übersicht belanglos.

Die Masse (A. IV.) Merkurs ist nach Backlund's Untersuchungen über die Bahn des Encke'schen Kometen angesetzt: die Masse von Venus und Jupiter, Newcomb's bereits angezogenen Untersuchungen über die Bahnen der 4 inneren Planeten entlehnt. Die Massen von Mars, Saturn und Uranus sind die von Hall aus seinen langjährigen Messungen der Satelliten dieser Gestirne gefolgerten; die Masse von Neptun ist ein Mittel aus den Werten, die Newcomb, Hall und H. Struve dafür gefunden haben, und die der Erde Newcomb's im Jahre 1865 darüber angestellten Berechnungen entnommen.

Die Massen der mit Monden versehenen Planeten beziehen sich auf das ganze System mit Einschluß der Monde, und bei Saturn auch des Ringes. Die Monde der Planeten haben, mit Ausnahme jenes der Erde gegen ihre Hauptplaneten ganz verschwindende Massen, und auch die Masse der Saturnsringe scheint gegen die des Planeten nur sehr geringfügig zu sein. (Vgl. S. 430.) Man kann daher mit Ausnahme der Erde die angegebenen Massen als die der Centralkörper gelten lassen. Hingegen muß man die Erdmasse allein blos zu $\frac{1}{326\,800}$ Sonnenmassen veranschlagen, da die Masse des Erdmondes etwa den 80sten Teil der Erdmasse beträgt, (nämlich $\frac{1}{79{\cdot}67}$ nach Hansen und $\frac{1}{81{\cdot}44}$ nach Newcomb). Diese Zahl wurde daher auch bei der Berechnung der beiden ersten Kolumnen der Tafel A. V. verwendet.

Als Durchmesser ist für Merkur das Mittel einer größeren Zahl verläßlicher Messungen desselben angeführt. Der Durchmesser der Venus und auch jener der Sonne sind nach den Heliometermessungen der deutschen Expeditionen zur Beobachtung der Venusdurchgänge von 1874 und 1882 angenommen, welche, wie erwähnt werden mag, diese Größen, namentlich den Durchmesser der Sonne erheblich kleiner ergeben haben, als man gewöhnlich dafür ansetzt. Der Durchmesser von Mars ist jener, den Hartwig, und der von Uranus jener, den Seeliger aus einer Diskussion der vorhandenen Messungen ableitet. Für den Äquatoreal- und Polardurchmesser Jupiters wurde das Mittel von Bessel's (37·60″ und 35·21″) und Schur's (37·43″ und 35·02″) Heliometermessungen eingesetzt. Die analogen Durchmesser Saturns sind Barnard's Messungen (17·77 und 16·34, S. 430) entnommen und für den Durchmesser Neptuns das Mittel aus den Bestimmungen von Lassell und Marth (2·28″) und H. Struve (2·21″) angegeben.

Bezüglich der mittleren Dichte der Erde vgl. S. 811. Als Dimensionen des Erdsphäroides sind die Bessel'schen, nämlich Äquatorealhalbmesser 6377·40 km und Polarhalbmesser 6358·08 km beibehalten, weil die deutschen Astronomen noch sehr allgemein mit denselben rechnen. Das Erdsphäroid, das Clarke 1880 aus allen damals ausgeführten verläßlichen Gradmessungen abgeleitet hat, besitzt die nur wenig von den obigen abweichenden Dimensionen: Äquatorealhalbmesser: 6378·25 km, Polarhalbmesser: 6356·52 km, Abplattung: $\frac{1}{293·5}$.

Die Dauer der Rotation von Merkur um seine Achse ist nach Schiaparelli der Dauer seiner Revolution um die Sonne gleich (S. 314); die Frage über die Rotationsdauer der Venus ist noch nicht entschieden (S. 325); es wurde deshalb bei diesem Planeten keine angeführt. Die Rotationszeit von Mars ist die aus der Zusammenfassung der Beobachtungen von Huyghens (1672) mit den neueren abgeleitete: für die von Jupiter ist die mittlere des roten Fleckens angesetzt, der in den letzten Jahren sichtbar war: für die von Saturn der Wert, den Asaph Hall, und für die Sonne jener, den Spörer dafür annimmt. Über die Unsicherheit dieser Angaben und die Rotationsverhältnisse dieser Körper überhaupt vergleiche man S. 262, 412 und 420. Die Rotationszeiten von Uranus und Neptun sind noch unbekannt: für ersteren hat wohl M. Hall in Jamaica aus Helligkeitsschwankungen, die er an ihm beobachtet hat, eine Rotationsperiode von $7^h\,55^m$ abgeleitet, welche aus theoretischen Gründen recht wohl statthaben könnte, wenn man eine Abplattung von 0·1 an ihm annimmt, die in der That auch von mehreren Astronomen aus ihren Messungen gefolgert wurde (S. 435).

Die Abplattung von Jupiter und Saturn ist aus den oben gegebenen Äquatoreal- und Polardurchmessern berechnet, und die von Mars jene, welche H. Struve aus der Bewegung der Apsidenlinie des Phobos abgeleitet hat.

Die Tafelgruppe B. enthält die Bahnelemente der Satelliten, beginnend mit den Elementen des Mondes unserer Erde, und zwar jenen, die Hansen bei der Berechnung seiner Mondtafeln angewendet hat.

In Betreff der Satelliten der übrigen Planeten sei vorausgeschickt, daß, mit Ausnahme der 4 alten Monde Jupiters, die Durchmesser derselben nicht aus direkten Messungen, sondern aus Pickering's Bestimmungen ihrer Helligkeit unter der Voraussetzung berechnet sind, daß deren Albedo der Albedo ihres Hauptplaneten gleich sei. (Vgl. S. 398.)

Des weiteren sind die Elemente der Marssatelliten den Untersuchungen Hall's über die Bahnen derselben, und die der 4 alten Jupitermonde Damoiseau's Tafeln entnommen. Für die mittleren Entfernungen der letztgenannten Monde sind die Werte beibehalten, die Bessel aus seiner Durchmessung des Jupitersystems zur Bestimmung der Masse des Planeten abgeleitet hat, während die Durchmesser derselben nach Barnard's Messungen angeführt sind. Die

Formeln, nach denen die übrigen Daten der betreffenden Tabellen I. und II. berechnet sind, sind bereits bei den Erläuterungen zu den Tabellen der großen Planeten angeführt.

Bezüglich der Satelliten Saturns sei vor allem anderen erwähnt, daß die Halbachsen (a und A) ihrer Bahnen aus der siderischen Umlaufszeit derselben (Kol. 7) mittelst des dritten Keppler'schen Gesetzes aus der Halbachse der Bahn von Japetus berechnet wurden, wobei für die letztere das Mittel der Werte (514·53″) angesetzt ist, die ihm de la Rue (514·7″) und Tisserand (514·37″) beilegen. Im Übrigen ist die Bahn von Hyperion nach Eichelberger, die von Japetus nach Tisserand gegeben, während die Bahnen der übrigen Satelliten Saturns den Beobachtungen und Berechnungen von H. Struve entnommen sind.

Die Bahnen der Satelliten von Uranus sind die Newcomb's in seinem „Uranian and Neptunian Systems", und die Bahn des Neptunmondes die, welche H. Struve abgeleitet hat. Für die Halbachse derselben wurde das Mittel der Bestimmungen von Newcomb (16·275″), Hall (16·349″) und H. Struve (16·271″) adoptiert.

Den Schluß dieser Abteilung bildet die Zusammenstellung der Bahnelemente der Asteroiden. Die Übersicht beginnt mit dem alphabetisch geordneten Namensverzeichnisse dieser Himmelskörper, welches außer der Nummer nach der Zeit ihrer Entdeckung auch die nach ihrer mittleren Entfernung von der Sonne enthält, mit der sie in der folgenden Tafel zu suchen sind. Dazu wäre nur zu bemerken, daß, wenn man die Planeten von Merkur angefangen nach ihrer mittleren Entfernung von der Sonne ordnet, der Asteroid mit der kleinsten Halbachse, (nach unseren jetzigen Kenntnissen (323) Brucia), eigentlich die Nummer 5 erhalten sollte. Wir haben es aber vorgezogen diese in sich geschlossene Planetengruppe speziell für sich zu nummerieren, und demgemäß (323) Brucia die Nummer 1 beigelegt, dem folgenden (244) Sita die Nummer 2 u. s. f.

Die Angabe der Asteroiden-Elemente schließt mit Nr. 400 nach der Zeit der Entdeckung, die für dieses Gestirn auf den 15. März 1895 fiel, weil die Elemente der etlichen zwanzig seither aufgefundenen Asteroiden zum Teil noch gar nicht bekannt, zum Teil nur noch sehr unsicher bestimmt sind. Übrigens wurden auch die 3 Planeten (330), (359) und (398) vom 18. März 1892, 10. März 1893 und 28. Dezember 1894 weggelassen, für welche die vorhandenen Beobachtungen zur Berechnung elliptischer Elemente nicht ausreichten. Es erscheinen daher in den folgenden Tabellen blos 397 Asteroiden aufgeführt, von denen 54 bisher erst in einer Opposition gesehen wurden. Dieselben sind in der letzten Kolumne der Tabelle C. II. durch beifügen eines der Zeichen: †, †* oder (?) gekennzeichnet. Das erste erhielten sie, wenn die Beobachtungen über einen längeren Zeitraum sich erstrecken, und über denselben ziemlich gleichmäßig verteilt sind, so daß die

Bahn immerhin einen ziemlichen Grad von Sicherheit besitzt. Das zweite Zeichen zeigt an, daß die Bahn schon mit einer erheblichen Unsicherheit behaftet ist, und das dritte, welches beispielsweise gleich der erste Planet Brucia erhalten hat, daß etwa mit Ausnahme der Bahnlage die übrigen Elemente nur als ganz rohe Näherungen angesehen werden können.

Die Bahnelemente der Asteroiden sind mit einer geringeren Genauigkeit gegeben, als die der großen Planeten, weil die bedeutenden Störungen, die diese Himmelskörper erleiden, sehr rasche und erhebliche Änderungen ihrer Bahnen herbeiführen. Dadurch wurde es möglich alle wichtigeren Angaben auf eine Doppelseite zusammenzudrängen, was den Überblick über diese vielgliedrige Gruppe sehr erleichtert. Nur die letzten 3 Kolumnen der Tafelgruppe A. III. dürften manche Freunde der Astronomie bei den Asteroiden ungern vermissen: es möge daher ein kleines Täfelchen hier Platz finden, dem sie leicht entnommen werden können.

Halbe große Achse der Bahn	Mittlere Geschwindigkeit bei der Bewegung um die Sonne in 1 Sekunde km	Fall gegen die Sonne in 1 Sekunde mm	Intensität von Licht und Wärme	Halbe große Achse der Bahn	Mittlere Geschwindigkeit bei der Bewegung um die Sonne in 1 Sekunde km	Fall gegen die Sonne in 1 Sekunde mm	Intensität von Licht und Wärme
2·0	20·925	0·736	0·250	3·1	16·808	0·307	0·104
2·1	20·421	0·668	0·227	3·2	16·543	0·288	0·098
2·2	19·952	0·609	0·207	3·3	16·290	0·271	0·092
2·3	19·513	0·557	0·189	3·4	16·049	0·255	0·087
2·4	19·102	0·511	0·174	3·5	15·818	0·240	0·082
2·5	18·716	0·471	0·160	3·6	15·597	0·227	0·077
2·6	18·353	0·436	0·148	3·7	15·385	0·215	0·073
2·7	18·010	0·404	0·137	3·8	15·181	0·204	0·069
2·8	17·685	0·376	0·128	3·9	14·985	0·194	0·066
2·9	17·378	0·350	0·119	4·0	14·797	0·184	0·063
3·0	17·086	0·327	0·111	4·1	14·617	0·174	0·060

Die einzelnen Angaben der Tafel C. II. sind durch ihre Überschriften wohl so genau charakterisiert, daß sie keiner weiteren Erläuterung bedürfen. Nur so viel möge bemerkt werden, daß man unter „mittlere Größe" jene Größe versteht, in welcher der Asteroid bei einer Opposition erscheinen würde, wenn dieselbe in der Knotenlinie seiner Bahn, und in seiner mittleren Entfernung von der Sonne einträte. Aus derselben ist der Durchmesser dieser Gestirne nach den Formeln von Stampfer unter der Annahme berechnet, daß ihre Albedo dem Mittelwerte der Albedo von Mars und Merkur gleich komme (vgl. S. 399). Blos die Durchmesser von Ceres, Pallas und Vesta sind nach Barnard's Messungen angesetzt. Endlich wollen wir noch beifügen, daß die angegebenen Periheldurchgänge die letzten sind, die noch in unserem Jahrhunderte eintreten werden oder bereits eingetreten sind.

Die Elemente sind den Berliner Jahrbüchern für 1897 und 1898 entnommen. Nur für einige der spätest entdeckten, unter den hier aufgenommenen Asteroiden

sind dieselben durch seither berechnete genauere ersetzt, welche wir einer freundlichen Mitteilung von Herrn Dr. Berberich verdanken.

Schließlich sei noch erwähnt, daß die in den folgenden Zusammenstellungen mitgeteilten Zahlen stellenweise von den im Werke angeführten etwas abweichen. Dies rührt hauptsächlich daher, daß im Werke häufig nur abgerundete Werte angewendet wurden, um dem Leser ein eventuelles Nachrechnen zu erleichtern, zum geringen Teile aber auch daher, daß seit dem Drucke der betreffenden Kapitel bessere Neubestimmungen einiger Größen bekannt geworden sind, und man es für zweckmäßig hielt, in diese Zusammenstellung die besten zur Zeit verfügbaren Zahlenwerte aufzunehmen. Außerdem möchten wir ausdrücklich hervorheben, daß die angeführten Dimensionen der großen Planeten, namentlich die der entfernteren durch andere Annahmen über ihre Durchmesser sehr erhebliche Änderungen erfahren. Es umspannt nämlich ein Winkel von 1″ in der mittleren Entfernung Neptuns bereits eine Länge von 21 650 km. Ändert man daher seinen scheinbaren Durchmesser auch nur um 0·1″ so ändert sich dabei sein wahrer bereits um 2165 km, ferner seine Oberfläche um $^1/_{11}$ und sein Volumen um $^1/_7$ des in unseren Tabellen angegebenen Betrages. In gleicher Weise ist der scheinbare Durchmesser der Sonne, den wir hier nach den Heliometermessungen der deutschen Venusdurchgangs-Expeditionen angenommen haben, in runder Summe um 3″ kleiner als er gewöhnlich angegeben wird, was auf den wahren reduziert, nahezu 2500 km beträgt. Endlich sei noch bemerkt, daß wir den in den letzten Jahren fast allgemein gebrauchten Wert 8·85″ (S. 341) für die mittlere Äquatoreal-Horizontal-Parallaxe der Sonne im Werke und in den Tabellen beibehalten haben, daß aber in der letzten Zeit immer mehr die Anzeichen sich häufen, er sei etwas zu groß und durch 8·80″ zu ersetzen. Der Übergang auf diesen Wert würde die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne auf 149·5 Mill. km oder auf 20·15 Mill. geographische Meilen erhöhen.

A. Bahnelemente der großen Planeten.

I.

Planet	Halbe große Bahnachse	Excentricität	Entfernung von der Sonne in Erdbahnhalbachsen: größte	Entfernung von der Sonne in Erdbahnhalbachsen: kleinste	Entfernung von der Erde in Mill. Kilometer: größte	Entfernung von der Erde in Mill. Kilometer: kleinste	Perihel-durchgang mittlerer Greenwicher Zeit	Mittlere tägliche siderische Bewegung
Merkur ☿	0·3870988	0·2056142	0·46669	0·30751	218	79	1899 Dez. 6·0	14732·4197″
Venus ♀	0 7233322	0·0068207	0·72827	0·71840	257	40	1899 Juli 6·1	5767·6698
Erde ♁	1·0000000	0·0167510	1·01675	0·98325	. . .	. . .	1899 Jan. 1·1	3548·1928
Mars ♂	1·5236914	0·0933574	1·66594	1·38144	396	57	1898 April 29·8	686·5183
Jupiter ♃	5·20280	0·0483351	5·4543	4·9513	959	587	1892 Juli 24·5	299·1284
Saturn ♄	9·53885	0·0559003	10·0721	9·0056	1646	1190	1885 Okt. 19·5	120·4547
Uranus ♅	19·18336	0·0464961	20·0727	28·2941	3132	2571	1886 Juni 12·0	42·2308
Neptun ♆	30·05674	0 0084990	30·3121	29·8014	4654	4281	1881 März 19·6	21·5330

II.

Planet	Umlaufszeit: Siderisch	Umlaufszeit: Tropisch	Umlaufszeit: Synodisch	Länge des Perihels	Länge des aufsteigenden Knotens	Neigung
	t	t				
Merkur . .	87·96926	87·96843	0j 115t 21h	75° 53′ 59·2″	47° 6′ 45·6″	7° 0′ 10·4″
Venus . . .	224·70079	224·69544	1 218 16	130 9 49·0	75 46 49·2	3 23 37·1
Erde	365·25636	365·24220	. . . . .	101 13 15·5	. . . . .	. . . . .
Mars . . .	686·97979	686·92972	2 48 23	334 13 7·1	48 47 9·3	1 51 1·3
Jupiter . .	4332·59	4330·60	1 33 15	12 43 14·5	99 26 35·6	1 18 31·1
Saturn . .	10759·23	10746·95	1 12 20	91 5 38·7	112 47 2·7	2 29 32·1
Uranus . .	30688·51	30588·90	1 4 7	171 20 41·5	73 30 6·0	0 46 22·2
Neptun . .	60186·64	59804·81	1 2 6	40 0 1·0	130 40 32·7	1 46 44·3

III.

Planet	Jährliche Änderung der: Excentricität in Einheiten der 7. Dezimale	Jährliche Änderung der: Länge des Perihels	Jährliche Änderung der: Länge des aufsteigenden Knotens	Jährliche Änderung der: Neigung	Mittlere Geschwindigkeit bei der Bewegung um die Sonne in 1 Sekunde	Fall gegen die Sonne in 1 Sekunde	Intensität von Licht und Wärme
					km	mm	
Merkur . .	+ 2·05	+ 55·998″	+ 42·667″	+ 0·067″	47·564	19·660	6·674
Venus . . .	— 4·79	+ 50 689	+ 32·394	+ 0·067	34·795	5·631	1·911
Erde . . .	— 4·18	+ 61·891	. . . . .	. . . . .	29·593	2·946	1·000
Mars . . .	+ 9·06	+ 66·244	+ 27·768	— 0·022	23·974	1·269	0·431
Jupiter . .	+ 16·62	+ 57·939	+ 36·379	— 0·205	12·976	0·109	0·037
Saturn . .	— 34·31	+ 70·441	+ 31·391	— 0·140	9·582	0·032	0·011
Uranus . .	+ 27·39	+ 50·256	+ 18·568	+ 0·025	6·757	0·008	0·003
Neptun . .	+ 0·56	+ 51·014	+ 39·615	— 0·346	5·398	0·003	0·001

IV.

Planet	Masse in Teilen der Masse der Sonne	Masse in Teilen der Masse der Erde	Scheinb. Äquat.-Durchmesser gesehen von der Sonne (mittl.)	Scheinb. Äquat.-Durchmesser gesehen von der Erde größter	Scheinb. Äquat.-Durchmesser gesehen von der Erde kleinster	Äquat.-Durchmesser in km	Äquat.-Durchmesser in Teilen des Erddurchmessers	Oberfläche in Mill. qkm	Oberfläche in Teilen der Erdoberfläche	Volumen in Bill. kkm	Volumen in Teilen des Erdvolumens
Merkur . .	$^1/_{9700000}$	0·03	16·66″	12·2″	4·4″	4648	0·364	68	0·13	0·052	0·05
Venus . . .	$^1/_{406690}$	0·79	23·23	62·2	9·7	12106	0·949	459	0·90	0·926	0·86
Erde . . .	$^1/_{322800}$	1·00	17·70	. . . .	. . . .	12755	1·000	510	1·00	1·083	1·00
Mars . . .	$^1/_{3104700}$	0·10	6·14	24·4	3·5	6742	0·529	142	0·28	0·160	0·15
Jupiter . .	$^1/_{1047·35}$	308	37·51	49·4	30·3	140630	11·03	59332	116·3	1359	1255·0
Saturn . .	$^1/_{3486·5}$	93	17·77	21·2	15·3	122150	9·58	44224	86·7	874	867·2
Uranus . .	$^1/_{22765}$	14	3·82	4·2	3·5	52810	4·14	8471	17·1	77	71·0
Neptun . .	$^1/_{19310}$	17	2·24	2·3	2·2	48500	3·80	7389	14·5	60	55·0

V.

Planet	Dichte	Verhältnis der Dichte zu jener des Wassers	1 kg auf der Oberfläche der Erde wiegt auf	Fallhöhe am Äquator in der ersten Sekunde	Verminderung der Schwere durch die Rotation	Rotationszeit	Geschwindigkeit eines Äquatorpunktes bei der täglichen Bewegung	Abplattung
				Meter			Meter	
Merkur . .	0·688	3·80	0·25	1·23	. . . . .	87·969 t	5·8	. . .
Venus . .	0·928	5·12	0·88	4·32	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . .
Erde . . .	1·000	5·52	1·00	4·91	$^1/_{289}$	23h 56m 4s	465	$^1/_{299}$
Mars . . .	0·704	3·89	0·37	1·83	$^1/_{226}$	24 37 23	239	$^1/_{190}$
Jupiter . .	0·246	1·36	2·54	12·44	$^1/_{11}$	9 55 36(?)	12403(?)	$^1/_{15·7}$
Saturn . .	0·115	0·63	1·00	4·91	$^1/_6$	10 14 24(?)	10410(?)	$^1/_{12·4}$
Uranus . .	0·200	1·10	0·83	4·06	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . .
Neptun . .	0·308	1·70	1·17	5·72	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . .

Unter der Annahme eines Durchmessers der Sonne von 31′ 59·26″ in ihrer mittleren Entfernung steigt derselbe in der Erdnähe bis auf 32′ 31·4″ und sinkt in der Erdferne auf 31′ 27·1″ herab. Ihr wahrer Durchmesser beläuft sich auf 1 383 000 km; ihre Oberfläche auf 599½ Bill. qkm und ihr Volumen auf 138 Trill. kkm; Größen, welche die entsprechenden Größen der Erde um das 108·4, 11 760 und 1 275 000fache übertreffen. Für eine Rotationsdauer der Sonne von 25t 6h ist die Geschwindigkeit eines ihrer Äquatorpunkte 2·0 km in der Sekunde.

Die Dimensionen der Ringsysteme Saturns enthält S. 430.

B. Bahnelemente der Satelliten.

1. Mond der Erde.

Siderische Umlaufszeit	27·32166t = 27t 7h 43m 11·5s
Tropische „	27·32150 = 27 7 43 4·7
Synodische „	29·53059 = 29 12 44 2·9
Anomalistische Umlaufszeit (von einer Erdnähe zur nächsten)	27·55460t
Drachenmonat (von Knoten zu Knoten)	27·21222
Excentricität der Bahn	0·054908
Mittlere tägliche tropische Bewegung	13° 10′ 35·0286″
Neigung der Mondbahn gegen die Ekliptik	5 8 39·96
Neigung des Mondäquators gegen die Ekliptik	1 28 25
Äquatoreal-Horizontalparallaxe in der mittleren Entfernung	0 57 2·06
Scheinbarer Durchmesser der mittleren Entfernung	0 31 6·0

Wahrer Durchmesser	0·27266	Erddurchmesser = 3478 km
Mittlere Entfernung vom Centrum der Erde . .	60·2778	Erdhalbmesser = 384 400 km
Größte " " " " " . .	63·5875	" = 405 450 "
Kleinste " " " " " . .	56·9681	" = 363 350 "
Verhältnis zur Erde in der Masse		$^1/_{79·67}$
Fall der Körper auf der Oberfläche in der ersten Sekunde		0·829 m

Die Knotenlinie der Mondbahn vollendet einen Umlauf auf der Ebene der Ekliptik in 18·613 und die Apsidenlinie eine ganze Drehung in 8·847 Julianischen Jahren (vgl. S. 831 ff.); die erstere dieser Bewegungen geht im Sinne von Ost nach West, die letztere im umgekehrten vor sich.

In allen nun folgenden Tabellen bedeutet d den scheinbaren Durchmesser des Satelliten gesehen vom Centrum des Planeten und D seinen wahren Durchmesser in Kilometern; ferner a den Winkel, unter welchem die Halbachse der Satellitenbahn in der mittleren Entfernung ihres Centralkörpers von der Sonne aus gesehen wird und A deren Dimension in Äquatorealhalbmessern ihres Centralkörpers.

2. Satelliten des Mars.

Satellit	d	D	a	A	Excentricität	Siderische Umlaufszeit
		km				d
1. Phobos	3·3′	8·3	8·50″	2·77	0·032079	0·3189113 t
2. Deimos . . .	1·2	7·2	21·23	6·92	0·005741	1·262435

Nach den Untersuchungen von Adams und Tisserand bewirkt die, wenn auch sehr geringe so doch gewiß vorhandene Abplattung von Mars, daß die Bahnen beider Satelliten stets sehr nahe in der Ebene des Marsäquators gehalten werden, dessen aufsteigender Knoten (N) und Neigung (J) bezogen auf den Erdäquator und die Epoche 1900·0 nach H. Struve N = 47° 10′ J = 37° 25′ sind. Nach den Beobachtungen und Berechnungen von H. Struve bewirkt die Abplattung von Mars eine jährliche Drehung der Apsidenlinie von Phobos um 158° und von Deimos um 6·4°.

3. Satelliten des Jupiter.

I.

Satellit	a	A	Excentricität	Umlaufszeit		Länge des		Neigung
				Siderisch	Synodisch	Perijoviums	aufsteigend. Knotens	
I . . .	1′ 51·74″	5·944	unmerklich	1·7691374 t	1t 18h 28·6m	. . . . .	314° 33·3′	3° 5·4′
II . . .	2 57·80	9·452	"	3·5511806	3 13 17·9	. . . . .	144 27·8	3 4·4
III . . .	4 43·61	15·086	0·001348	7·1545529	7 3 59·6	180° 10·1′	315 2·7	3 0·5
IV . . .	8 18·87	26·535	0·007243	16·6890164	16 18 5·1	241 38·0	220 51·1	2 41·0

II.

Satellit	Scheinb. Durchmesser gesehen von		Wahrer Durchmesser	Masse in Teilen der Jupitermasse	Dichte, die Jupiter = 1	Fall auf der Oberfläche in der ersten Sekunde	Fall gegen Jupiter in einer Sekunde	Stündliche Bewegung in der Bahn
	⊙ in mittl. Entfernung	Jupiters Centrum						
			km			Meter		km
I . . .	1·05″	32·3′	3935	0·000016877	0·72	0·27	0·373m	62 043
II . . .	0·87	16·5	3260	0·000023227	1·70	0·53	0·149	49 145
III . . .	1·52	18·1	5700	0·000088437	1·23	0·67	0·058	38 935
IV . . .	1·43	9·7	5360	0·000042475	0·71	0·36	0·016	29 355

Die Satelliten üben mannigfache Störungen auf einander aus, aus denen Damoiseau die hier angeführten Massen derselben abgeleitet hat. Über die merkwürdigen Verhältnisse zwischen den Bewegungen dieser Satelliten vgl. S. 497.

Außer diesen, gleich nach der Erfindung des Fernrohrs entdeckten 4 Monden, hat Barnard am 9. September 1892 noch einen äußerst lichtschwachen Satelliten entdeckt, der blos 2·55 Halbmesser Jupiters (47·91″) vom Centrum des Planeten absteht, und ihn in 11h 57m 22·6s umkreist. Die Bahn desselben ist merklich elliptisch und deren Apsidenlinie in einer raschen Drehung begriffen (S 502).

4. Satelliten Saturns.

Satellit	d	D	a	A	Excentricität	Siderische Umlaufszeit
1. Mimas	8·7′	513 km	0′ 26·79″	3·01	0·016	0·942426
2. Enceladus . .	8·6	635	0 34·38	3·87	0·0047	1·370219
3. Thetys	10·7	989	0 42·57	4·79	. . . . .	1·887797
4. Dione	7·9	941	0 54·53	6·14	0·0040	2·736913
5. Rhea	7·8	1225	1 16·16	8·57	. . . . .	4·517495
6. Titan	6·4	2443	2 56·55	19·87	0·0291	15·94543
7. Hyperion . . .	7·2	330	3 33·99	24·08	0·1056	21·27652
8. Japetus . . .	7·5	843	8 34·53	57·91	0·0296	79·32937

Die Bahnebenen der inneren Satelliten bis einschließlich Rhea, werden, wie bereits Laplace in seiner Mécanique celeste nachgewiesen, durch die Abplattung Saturns stets sehr nahe in der Ebene seines Äquators festgehalten, dessen Lage nach den Bestimmungen von H. Struve, auf die Ekliptik und das Äquinoktium 1886·2 bezogen, lautet:

Länge des aufsteigenden Knotens . . . 167° 53·6′
Neigung . . . . . 28 2·0

Auch die Bahnebenen von Titan und Hyperion haben noch eine sehr ähnliche Lage: bei Japetus hingegen liegt bei einer Neigung von $N = 18° 31'$ der aufsteigende Knoten in $\Omega = 142° 40'$ Länge.

Infolge der Abplattung Saturns besitzen auch die Perisaturnien der inneren Satelliten eine sehr rapide Bewegung von West nach Ost, die nach den Untersuchungen von H. Struve bei Mimas jährlich etwa 370°, bei Enceladus etwa 124° beträgt und bis Titan auf 0·5° herabsinkt. Ebenso sind auch die Knotenlinien der Satellitenbahnen in einer raschen aber retrograden Drehung begriffen, die sich wieder nach H. Struve bei Mimas auf jährlich 365°, bei Thetis auf 73°, bei Rhea auf 10° u. s. w. beläuft. Die merkwürdigen Verhältnisse, welche zwischen den mittleren Bewegungen der einzelnen Satelliten stattfinden, sind S. 505 ausführlicher besprochen; sie ziehen außer den dort angegebenen Folgen auch bedeutende Schwankungen in den Längen dieser Gestirne um deren mittleren Ort nach sich.

Über die Sicherheit der photometrischen Bestimmung der Durchmesser der Satelliten vgl. S. 505.

Die Dimensionen des Ringsystems finden sich S. 430.

5. Satelliten des Uranus.

Satellit	d	D	a	A	Siderische Umlaufszeit
1. Ariel	. . . . .	. . . . .	13·78″	7·21	2·52038
2. Umbriel . . .	. . . . .	. . . . .	19·20	10·04	4·14418
3. Titania	7·3′	940 km	31·48	16·47	8·70590
4. Oberon	5·1	875	42·10	22·02	13·46327

Eine Excentricität der Bahnen läßt sich mit Sicherheit nicht nachweisen; dieselben scheinen auch sämtlich in ein und derselben Ebene zu liegen, deren wahrscheinlichste Lage bezogen auf die Ekliptik und das Äquinoktium 1880·0 gegeben ist, durch:

Länge des aufsteigenden Knotens . . . . 165° 54′
Neigung 97 51

Nach der relativen Helligkeit der Satelliten gegen den Hauptplaneten zu urteilen, dürfte die Masse aller 4 zusammen kaum $^1/_{15000}$ seiner Masse betragen.

6. Satellit des Neptun.

	d	D	a	A	Excentricität	Siderische Umlaufszeit
Satellit . . .	30·9′	3630 km	16·30″	14·55	0·0070	5·87683 t

Die Lage der Bahnebene gegen den Äquator der Erde ist nach H. Struve:

Länge des aufsteigenden Knotens . . $185·15° + 0·148°$ (t — 1890)
Neigung . . . . . $119·35 - 0·165$ (t — 1890).

Die Änderung der Lage der Bahnebene des Satelliten läßt sich nach Tisserand schon durch eine geringe Abplattung Neptuns (etwa 0·01) erklären, wenn diese Bahnebene mit der Ebene seines Äquators einen erheblichen Winkel einschließt.

Über den Stand der Frage, ob außer dem obigen noch andere Satelliten Neptuns vorhanden seien, vgl. S. 507.

C. I. Alphabetisches Verzeichnis

Asteroid	Nummer nach der Zeit der Entdeckung	Nummer nach der mittl. Entf. von der Sonne	Asteroid	Nummer nach der Zeit der Entdeckung	Nummer nach der mittl. Entf. von der Sonne	Asteroid	Nummer nach der Zeit der Entdeckung	Nummer nach der mittl. Entf. von der Sonne	Asteroid	Nummer nach der Zeit der Entdeckung	Nummer nach der mittl. Entf. von der Sonne
Abundantia	151	116	Ausonia	63	61	Doris	48	328	Hebe	6	74
Adelheid	276	333	Austria	136	22	Dorothea	339	299	Hedda	207	21
Adelinda	229	386	Badenia	333	339	Dresda	263	270	Heidelberga	325	379
Adeona	145	154	Baptistina	298	18	Dynamene	200	187	Hekate	100	316
Adorea	268	314	Barbara	234	58	Echo	60	60	Hekuba	108	377
Adrastea	239	286	Baucis	172	54	Eduarda	340	198	Helena	101	112
Adria	143	211	Bavaria	301	181	Egeria	13	108	Henrietta	225	384
Aegina	91	114	Beatrix	83	76	Elektra	130	325	Hera	103	171
Aegle	96	308	Belisana	178	90	Elpis	59	174	Hermione	121	389
Aemilia	159	324	Bellona	28	228	Elsa	182	68	Hersilia	206	190
Aëria	369	139	Bertha	154	373	Elvira	277	268	Hesperia	69	287
Aethra	132	95	Bettina	250	361	Emma	283	304	Hertha	135	75
Agathe	228	10	Bianca	218	150	Eos	221	298	Hestia	46	96
Aglaja	47	265	Boudrosa	338	279	Erato	62	340	Hilda	153	395
Aletheia	259	351	Brasilia	293	260	Erigone	163	45	Honoria	236	245
Alexandra	54	172	Brucia	323	1	Etheridgea	331	301	Huberta	260	390
Alice	291	14	Bruna	290	32	Eucharis	181	337	Hygiea	10	349
Aline	266	249	Brunhild	123	168	Eudora	217	261	Hypatia	238	276
Alkeste	124	130	Burdigala	384	142	Eugenia	45	177	Iclea	286	374
Alkmene	82	213	Byblis	199	367	Eukrate	247	191	Ida	243	257
Althaea	119	110	Cäcilia	297	366	Eunike	185	188	Idunna	176	370
Amalia	284	41	Camilla	107	392	Eunomia	15	135	Ilse	249	50
Amalthea	113	49	Carolina	235	266	Euphrosyne	31	357	Ino	173	194
Ambrosia	193	107	Celuta	186	44	Europa	52	318	Io	85	141
Ampella	198	59	Ceres	1	219	Eurydike	75	156	Iphigenia	112	78
Amphitrite	29	103	Chaldaea	313	51	Eurykleia	195	264	Irene	14	115
Anahita	270	7	Chicago	334	393	Eurynome	79	85	Iris	7	57
Andromache	175	381	Chryseis	202	313	Euterpe	27	35	Irma	177	223
Angelina	64	161	Circe	34	162	Eva	164	132	Isabella	210	179
Anna	265	73	Clarissa	302	72	Felicia	294	346	Isis	42	83
Antigone	129	258	Claudia	311	271	Felicitas	109	169	Ismene	190	394
Antiope	90	359	Clementina	252	362	Feronia	72	19	Isolde	211	305
Antonia	272	229	Clorinde	282	34	Fides	37	134	Istria	183	240
Arete	197	192	Coelestina	237	212	Flora	8	9	Ianthe	98	165
Arethusa	95	312	Columbia	327	239	Florentina	321	269	Johanna	127	205
Ariadne	43	11	Concordia	58	170	Fortuna	19	84	Josephina	303	336
Artemis	105	48	Constantia	315	16	Fraternitas	309	131	Juewa	139	236
Aschera	214	121	Cybele	65	388	Freia	76	387	Julia	89	99
Asia	67	70	Cyrene	133	309	Frigga	77	152	Juno	3	155
Asporina	246	167	Danaë	61	289	Galatea	74	232	Justitia	269	123
Asterope	233	146	Daphne	41	215	Gallia	148	224	Kalliope	22	277
Astraea	5	106	Dejanira	157	111	Garumna	180	178	Kalliste	204	157
Atala	152	352	Dejopeja	184	372	Geraldina	300	378	Kalypso	53	126
Atalante	36	199	Dembowska	349	280	Gerda	122	380	Kassandra	114	158
Ate	111	117	Desiderata	344	119	Germania	241	306	Katharina	320	297
Athamantis	230	55	Devosa	337	56	Glauke	288	209	Kleopatra	216	241
Athor	161	52	Diana	78	128	Goberta	316	368	Klio	84	43
Atropos	273	62	Dido	209	355	Gordonia	305	317	Klotho	97	153
Augusta	254	6	Dike	99	243	Gudrun	328	323	Klymene	104	364
Aurora	94	365	Dione	106	369	Harmonia	40	20	Klytaemnestra	179	285

der Asteroiden.

Asteroid	Nummer nach der Zeit der Entdeckung	Nummer nach der mittl. Entf. von der Sonne	Asteroid	Nummer nach der Zeit der Entdeckung	Nummer nach der mittl. Entf. von der Sonne	Asteroid	Nummer nach der Zeit der Entdeckung	Nummer nach der mittl. Entf. von der Sonne	Asteroid	Nummer nach der Zeit der Entdeckung	Nummer nach der mittl. Entf. von der Sonne
Klytia	73	149	Niobe	71	204	Siri	332	382	1892 U . . .	350	335
Kolga	191	273	Nuwa	150	288	Sirona . . .	116	220	1892 V . . .	351	217
Koronis . . .	158	262	Nysa	44	71	Sita	244	2	1893 A . . .	354	242
Kriemhild . .	242	256	Oceana . . .	224	137	Siwa	140	182	1893 B . . .	352	5
Lacadiera . .	336	17	Oenone . . .	215	214	Sophia . . .	251	320	1893 E . . .	355	98
Lachesis . . .	120	331	Olga	304	65	Sophrosyne .	134	104	1893 F . . .	353	173
Lacrimosa . .	208	272	Ophelia . . .	171	353	Stephania . .	220	36	1893 G . . .	356	210
Laetitia . . .	39	221	Oppavia . . .	255	196	Svea	329	94	1893 J . . .	357	363
Lamberta . .	187	185	Pales	49	321	Sylvia . . .	87	391	1893 K . . .	358	267
Lameia . . .	248	91	Pallas	2	225	Tamara . . .	326	27	1893 N . . .	360	296
Laurentia . .	162	300	Pandora . .	55	207	Terpsichore .	81	253	1893 P . . .	361	396
Leda	38	189	Panopaea . .	70	124	Thalia	23	129	1893 R . . .	362	109
Leona	319	385	Parthenope .	11	88	Themis . . .	24	344	1893 S . . .	363	200
Leto	68	234	Paulina . . .	278	206	Theresia . . .	295	246	1893 T . . .	364	13
Leukothea . .	35	291	Peitho	118	81	Thetis	17	92	1893 V . . .	365	248
Liberatrix . .	125	193	Penelope . .	201	160	Thisbe . . .	86	216	1893 W . .	366	354
Libussa . . .	264	247	Penthesilea .	271	295	Thora	299	80	A. A	367	12
Lilaea	213	202	Phaedra . . .	174	255	Thule	279	397	A. B	368	307
Lomia	117	290	Phaëtusa . .	296	15	Thusnelda .	219	38	A. C	370	28
Loreley . . .	165	347	Phaeo	322	230	Thyra	115	53	A. D	371	183
Lucia	222	343	Philagoria .	274	303	Tirza	267	227	A. H	372	160
Lucina	146	176	Philia	280	283	Tolosa . . .	138	86	A. J	373	334
Lucretia . . .	281	4	Philomela . .	196	327	Tyche	258	125	A. K	374	233
Ludovica . .	292	97	Philosophia .	227	350	Una	160	180	A. L	375	345
Lumen . . .	141	151	Phocaea . . .	25	63	Undina . . .	92	371	A. M	376	23
Lutetia . . .	21	79	Phthia . . .	189	87	Unitas	306	39	A. N	377	166
Lydia	110	184	Pierretta . .	312	238	Urania . . .	30	46	A. P	378	237
Magdalena .	318	375	Polana . . .	162	69	Urda	167	254	A. Q	379	342
Maja	66	136	Polyhymnia .	33	259	Vala	131	77	A. R	380	159
Margarita .	310	208	Polyxo . . .	308	195	Valda	262	100	A. S	381	376
Maria	170	102	Pomona . .	32	113	Vanadis . .	240	147	A. T	382	326
Martha . . .	205	231	Pompeja . .	203	186	Velleda . . .	126	82	A. U	383	338
Massalia . .	20	66	Prokne . . .	194	127	Vera	245	319	A. X	385	252
Mathilde . .	253	140	Proserpina .	26	143	Vesta	4	42	A. Y	386	274
Medea . . .	212	330	Protogeneia .	147	348	Vibilia . . .	144	144	A. Z	387	197
Medusa . . .	149	3	Prymno . . .	261	31	Victoria . . .	12	33	B. A	388	292
Melete . . .	56	118	Psyche	16	282	Vindobona .	231	281	B. B	389	120
Meliboea . .	137	329	Regina . . .	285	311	Virginia . . .	50	138	B. C	390	145
Mepomene .	18	26	Rhodope . .	166	164	Walpurga . .	256	294	B. E	391	29
Menippe . .	188	251	Roberta . . .	335	93	Weringia . .	226	175	B. G	393	226
Metis	9	59	Rosa	223	315	Wilhelmina .	392	293	B. H	394	218
Minerva . .	93	203	Rosalia . . .	314	356	Xanthippe . .	156	302	B. K	395	235
Miriam . . .	102	148	Roxane . . .	317	24	Zelia	169	40	B. L	396	250
Mnemosyne .	57	358	Russia	232	101	1892 J . . .	341	8	B. M	397	133
Nausikaa . .	192	64	Sapientia . .	275	222	1892 K . . .	342	105	B. P	399	310
Nemausa . .	51	47	Sappho . . .	80	25	1892 N . . .	343	67	B. U	400	341
Nemesis . . .	128	201	Scylla	155	278	1892 O . . .	345	30	. . . . .	324	163
Nenetta . . .	289	263	Semele . . .	86	322	1892 P . . .	346	244			
Nephthys . .	287	37	Sibylla . . .	168	383	1892 Q . . .	347	122			
Nike	307	275	Silesia . . .	257	332	1892 R . . .	348	284			

Die 3 Planeten mit den Nummern 330, 359 und 398 nach der Zeit der Entdeckung sind nicht berücksichtigt, da für sie aus den vorhandenen Beobachtungen nur Kreisbahnen berechnet werden konnten.

C. II. Bahnelemente

Planet	Entdecker	Entdeck. Zeit	Mittl. Größe	Durchmesser km	Mttl. tgl. Sid. Bew.	Umlfsz. Jahre	Perihel Durchg.
1. Brucia	Wolf	1891 Dez. 20	13·0	26	1119·6″	3·169	1897·961
2. Sita	Palisa	1884 Okt. 14	13·7	19	1106·5	3·207	1897·394
3. Meduſa	Perrotin	1875 Sept. 21	12·9	26	1106·4	3·207	1898·607
4. Lucretia	Palisa	1888 Okt. 31	13·6	21	1097·9	3·232	1898·593
5. 1893 B	Wolf	1893 Jan. 12	12·1	41	1092·3	3·248	1898·875
6. Auguſta	Palisa	1886 März 31	13·4	23	1091·1	3·252	1899·669
7. Anahita	Peters	1887 Okt. 8	11·0	68	1088·3	3 260	1897·230
8. 1892 J	Wolf	1892 Sept. 25	13·1	26	1086·6	3·265	1899·003
9. Flora	Hind	1847 Okt. 18	8·9	179	1086·3	3·266	1899·933
10. Agathe	Palisa	1882 Aug. 19	14·7	12	1086·2	3·267	1898·973
11. Ariadne	Pogſon	1857 April 15	10·0	108	1084·9	3·270	1897·029
12. A. A	Charlois . . .	1893 Mai 19	12·5	36	1073·6	3·305	1899·133
13. 1893 T	Charlois . . .	1893 März 19	11·7	52	1073·2	3·306	1898·584
14. Alice	Palisa	1890 April 25	13·6	22	1071·7	3·311	1899·550
15. Phaëtuſa . . .	Charlois . . .	1890 Aug. 20	13·3	25	1068·1	3·322	1897·553
16. Conſtantia . .	Palisa	1891 Sept. 4	14·0	18	1057·3	3·356	1898·299
17. Lacadiera . . .	Charlois . . .	1892 Sept. 19	11·8	49	1047·6	3·387	1898·611
18. Baptiſtina . . .	Charlois . . .	1890 Sept. 9	13·5	23	1041·8	3·406	1898·756
19. Feronia	Peters	1861 Mai 29	11·2	68	1040·4	3·410	1899·821
20. Harmonia . . .	Goldſchmidt . .	1856 März 31	9·2	171	1039·3	3·414	1898·779
21. Hedda	Palisa	1879 Okt. 17	11·8	52	1028·2	3·451	1898·833
22. Auſtria	Palisa	1874 März 18	11·2	68	1026·2	3 458	1899·627
23. A. M	Charlois . . .	1893 Sept. 18	11·8	54	1023·4	3·467	1899·766
24. Roxane	Charlois . . .	1891 Sept. 11	12·2	45	1021·0	3·475	1898·662
25. Sappho	Pogſon	1864 Mai 2	10·6	94	1020·3	3·478	1896·592
26. Melpomene . .	Hind	1852 Juni 24	9·3	171	1020·1	3·478	1898·440
27. Tamara	Palisa	1892 März 19	11·1	75	1005·8	3·528	1899·875
28. A. C	Charlois . . .	1893 Juli 14	12·8	34	1003·3	3·536	1897·542
29. B. E	Wolf	1894 Nov. 1	13·4	26	1002·2	3·541	1898·154
30. 1892 O	Charlois . . .	1892 Nov. 23	11·3	71	1000·1	3·548	1896·688
31. Prymno	Peters	1886 Okt. 31	11·9	54	996.9	3·559	1898·704
32. Bruna	Palisa	1890 März 20	14·6	15	995·2	3·565	1896·914
33. Victoria	Hind	1850 Sept. 13	9·7	149	994·8	3·566	1896·704
34. Clorinde . . .	Charlois . . .	1889 Jan. 28	13·3	28	991·9	3·577	1899·298
35. Euterpe	Hind	1853 Nov. 8	9·7	149	986·7	3·596	1897·279
36. Stephania . . .	Palisa	1881 Mai 19	13·6	26	984·6	3·604	1896·496
37. Nephthys . . .	Peters	1889 Aug. 25	10·7	94	982·9	3·610	1899·761
38. Thusnelda . .	Palisa	1880 Sept. 30	11·2	71	982·3	3·612	1898·581
39. Unitas	Milloſevich . .	1891 März 1	10·2	118	980·1	3·620	1899·781
40. Zelia	Proſper Henry	1876 Sept. 29	11·3	71	979·6	3·622	1898·154
41. Amalia	Charlois . . .	1889 Mai 29	12·9	34	979·3	3·623	1897·024
42. Veſta	Olbers	1807 März 29	6·5	386	977·8	3·629	1898·566
43. Klio	Luther	1865 Aug. 25	11·3	71	977·0	3·632	1898·399
44. Celuta	Proſper Henry	1878 April 6	11·4	68	976·9	3·632	1897·626
45. Erigone	Perrotin	1876 April 26	12·0	52	976·9	3·632	1897·163
46. Urania	Hind	1854 Juli 22	9·9	136	975·3	3·638	1898·915
47. Nemauſa . . .	Laurent	1858 Jan. 22	9·8	142	975·2	3·639	1898·220
48. Artemis	Watſon	1868 Sept. 16	11·1	82	970·7	3·655	1896·940
49. Amalthea . . .	Luther	1871 März 12	11·0	86	969·0	3·662	1887·048
50. Iſis	Peters	1885 Aug. 16	13·6	25	967·7	3·667	1896·952
51. Chaldaea . . .	Palisa	1891 Aug. 30	10·3	118	967·0	3·669	1896·698
52. Athor	Watſon	1876 April 19	11·0	86	966·9	3·670	1899·212
53. Thyra	Watſon	1871 Aug. 6	10·4	113	966·3	3·672	1897·959
54. Baucis	Borelly	1877 Febr. 5	10·4	113	966·0	3·673	1897·280
55. Athamantis . .	de Ball	1882 Sept. 3	10·3	118	965·0	3·677	1897·703

der Asteroiden.

Halbachse	Excentricität	Knot. Dist. d. Perihels	Länge des aufst. Knot.	Neigung	Entfernung von ⊙		Planet
					Größte	Kleinste	
2·1575	0·2750	292° 18′	97° 3′	19° 21′	2·7508	1·5642	Brucia. (?)
2·1746	0·1371	164 7	208 43	2 50	2·4727	1·8765	Sita.
2·1747	0·0669	249 46	158 42	0 56	2·3202	2·0292	Medusa.
2·1859	0·1322	14 35	31 10	5 20	2·4748	1·8970	Lucretia.
2·1934	0·1481	141 51	247 15	3 22	2·5182	1·8686	1893 B.
2·1950	0·1213	230 49	28 21	4 32	2·4613	1·9287	Augusta.
2·1987	0·1500	78 4	254 26	2 22	2·5285	1·8689	Anahita.
2·2010	0·1914	292 55	29 1	5 40	2·6222	1·7798	1892 J. †*
2·2014	0·1567	282 37	110 18	5 53	2·5464	1·8564	Flora. *
2·2015	0·2405	16 4	313 35	2 33	2·7310	1·6720	Agathe.
2·2033	0·1682	13 39	264 49	3 28	2·5739	1·8327	Ariadne.
2·2188	0·0912	53 34	83 5	2 57	2·4212	2·0164	A. A.
2·2193	0·1450	310 32	105 8	5 59	2·5411	1·8975	1893 T.
2·2213	0·0933	329 4	161 5	1 50	2·4286	2·0140	Alice.
2·2263	0·1583	250 2	120 56	1 45	2·5787	1·8739	Phaëtusa. †*
2·2416	0·1680	171 22	161 14	2 25	2·6182	1·8650	Constantia. †
2·2553	0·0931	26 36	234 33	5 42	2·4652	2·0454	Lacadiera.
2·2637	0·0966	132 49	8 6	6 18	2·4823	2·0451	Baptistina.
2·2657	0·1209	100 42	207 55	5 24	2·5396	1·9918	Feronia.
2·2673	0·0466	267 19	93 35	4 16	2·3729	2·1617	Harmonia. *
2·2835	0·0293	188 41	29 1	3 49	2·3504	2·2166	Hedda.
2·2886	0·0843	130 31	186 16	9 33	2·4794	2·0938	Austria.
2·2907	0·1734	313 19	302 18	5 25	2·6880	1·8934	A. M.
2·2944	0·0877	186 36	150 47	1 45	2·4956	2·0932	Roxane.
2·2954	0·2009	136 58	218 41	8 37	2·7564	1·8344	Sappho.
2·2956	0·2177	225 2	150 4	10 9	2·7953	1·7959	Melpomene. *
2·3174	0·1875	236 57	31 54	23 47	2·7518	1·8830	Tamara.
2·3212	0·0450	67 35	290 48	7 47	2·5418	2·1006	A. C.
2·3230	0·3102	144 49	212 37	23 5	3·0435	1·6025	B. E. †
2·3262	0·0616	227 20	212 34	9 44	2·4695	2·1829	1892 O.
2·3312	0·0912	63 16	96 23	3 38	2·5439	2·1185	Prymno.
2·3338	0·2601	103 33	10 27	22 13	2·9407	1·7269	Bruna. †*
2·3342	0·2189	66 5	235 34	8 23	2·8452	1·8232	Victoria. *
2·3390	0·0821	293 30	144 47	9 1	2·5310	2·1470	Clorinde.
2·3472	0·1739	354 8	93 51	1 36	2·7554	1·9390	Euterpe. *
2·3505	0·2571	75 9	258 26	7 34	2·9547	1·7463	Stephania. †*
2·3533	0·0228	115 38	142 12	10 1	2·4070	2·2996	Nephthys.
2·3542	0·2234	140 4	200 48	10 47	2·8802	1·8282	Thusnelda.
2·3577	0·1512	165 35	141 39	7 15	2·7141	2·0013	Unitas.
2·3584	0·1310	332 11	354 50	5 31	2·6673	2·0495	Zelia.
2·3589	0·2213	54 58	234 5	8 4	2·8809	1·8369	Amalia.
2·3614	0·0900	148 35	103 34	7 8	2·5738	2·1490	Vesta.
2·3626	0·2348	12 27	327 25	9 21	2·9174	1·8078	Klio.
2·3628	0·1498	313 25	14 33	13 11	2·7167	2·0089	Celuta.
2·3629	0·1896	295 45	160 15	4 48	2·8108	1·9150	Erigone.
2·3654	0·1280	83 35	308 15	2 6	2·6681	2·0627	Urania.
2·3657	0·0673	358 30	175 53	9 57	2·5248	2·2066	Nemausa.
2·3728	0·1764	54 29	188 3	21 31	2·7913	1·9543	Artemis.
2·3753	0·0883	76 49	123 15	5 2	2·5851	2·1655	Amalthea.
2·3779	0·2159	39 23	334 52	9 41	2·8913	1·8645	Ilse.
2·3789	0·1799	312 43	176 45	11 35	2·8069	1·9509	Chaldaea.
2·3791	0·1387	291 51	18 41	9 3	2·7091	2·0491	Athor.
2·3802	0·1927	94 15	309 3	11 35	2·8390	1·9214	Thyra.
2·3806	0·1139	356 49	332 3	10 2	2·6517	2·1095	Baucis.
2·3823	0·0607	137 30	239 47	9 25	2·5270	2·2376	Athamantis.

Planet	Entdecker	Entdeck. Zeit	Mittl. Größe	Durchmesser km	Mttl. tgl. Sid. Bew.	Umlfsz. Jahre	Perihel Durchg.
56. Devosa	Charlois . . .	1892 Sept. 22	11·4	71	963·7	3·682	1897·097
57. Iris	Hind	1847 Aug. 13	8·4	284	962·6	3·686	1899·902
58. Barbara . . .	Peters	1883 Aug. 12	11·7	62	962·4	3·687	1898·448
59. Metis	Graham	1848 April 26	8·9	225	962·3	3·687	1896·779
60. Echo	Ferguson . . .	1860 Sept. 15	11·1	82	958·3	3·703	1898·665
61. Ausonia . . .	de Gasparis. .	1861 Feb. 11	9·9	142	957·2	3 707	1899·220
62. Atropos . . .	Palisa	1888 März 8	11·6	65	955·4	3·714	1896·633
63. Phocaea . . .	Chacornac. . .	1853 April 7	10·5	108	954·3	3·718	1898·504
64. Nausikaa . . .	Palisa	1879 Febr. 17	9·3	187	952·5	3·725	1896·384
65. Olga	Palisa	1891 Febr. 14	12·4	47	951·5	3·729	1896·639
66. Massalia . . .	de Gasparis. .	1852 Sept. 19	9·2	205	949·6	3·736	1898·441
67. 1892 N . . .	Wolf	1892 Nov. 15	13·5	27	947·4	3·745	1896·596
68. Elsa	Palisa	1878 Febr. 7	11·0	90	944·9	3·755	1899·896
69. Polana . . .	Palisa	1875 Jan. 28	12·2	52	943·1	3·762	1898·497
70. Asia	Pogson	1861 April 17	11·2	82	942·5	3·765	1899·587
71. Nysa	Goldschmidt . .	1857 Mai 27	9·8	156	941·7	3·768	1897·720
72. Clarissa . . .	Charlois . . .	1890 Nov. 14	13·9	24	941·7	3·768	1898·739
73. Anna	Palisa	1887 Febr. 25	13·8	25	941·2	3·770	1898·913
74. Hebe	Hencke	1847 Juli 1	8·5	284	940·1	3·775	1897·514
75. Hertha	Peters	1874 Febr. 18	10·5	113	936·3	3·789	1898·396
76. Beatrix . . .	de Gasparis. .	1865 April 26	11·3	78	935·9	3·791	1899·292
77. Vala	Peters	1873 Mai 24	12·2	52	935·6	3·792	1899·715
78. Iphigenia . .	Peters	1870 Sept. 19	11·5	71	934·9	3·795	1897·054
79. Lutetia	Goldschmidt . .	1852 Nov. 15	7·4	136	933·6	3·801	1897·826
80. Thora	Palisa	1890 Okt. 6	14·5	19	933·4	3·801	1898·403
81. Peitho	Luther	1872 März 15	10·8	98	932·6	3·805	1897·958
82. Velleda . . .	Paul Henry .	1872 Nov. 5	11·5	71	931·7	3·808	1899·078
83. Isis	Pogson	1856 Mai 23	10·4	118	930·4	3·813	1898·864
84. Fortuna . . .	Hind	1852 Aug. 22	9·8	156	929·9	3·816	1898·897
85. Eurynome . .	Watson	1863 Sept. 14	10·5	113	927·9	3·824	1898·389
86. Tolosa	Perrotin. . . .	1874 Mai 19	11·8	62	926·2	3·831	1897·912
87. Phthia	Peters	1878 Sept. 9	11·5	71	925·1	3·836	1897·892
88. Parthenope .	de Gasparis. .	1850 Mai 11	9·3	205	923·1	3·844	1897·277
89. Ampella . . .	Borelly	1879 Juni 13	11·0	90	919·9	3·857	1899·478
90. Belisana . . .	Palisa	1877 Nov. 6	12·0	59	918·6	3·863	1899·550
91. Lameia	Palisa	1885 Juni 6	13·0	37	913·8	3·883	1897·049
92. Thetis	Luther	1852 April 17	10·1	142	913·1	3·886	1899·512
93. Roberta . . .	Staus	1892 Sept. 1	11·6	71	911·2	3·894	1899·980
94. Svea	Wolf	1892 März 21	12·1	57	911·1	3·895	1896·392
95. Aethra	Watson	1873 Juni 13	11·1	103	903·7	3·926	1896·232
96. Hestia	Pogson	1857 Aug. 16	10·6	118	883·4	4·017	1898·109
97. Ludovica . . .	Palisa	1890 April 25	12·5	52	882·5	4·021	1899·622
98. 1893 E . . .	Charlois . . .	1893 Jan. 20	13·1	39	876·6	4·048	1896·775
99. Julia	Stephan. . . .	1866 Aug. 6	10·1	156	871·6	4·071	1899·516
100. Valda	Palisa	1886 Nov. 3	14·1	25	869·4	4·081	1899·237
101. Russia	Palisa	1883 Jan. 31	13·4	34	869·3	4·082	1899·878
102. Maria	Perrotin. . . .	1877 Jan. 10	11·7	75	869·1	4·082	1897·197
103. Amphitrite . .	Marth.	1854 März 1	9·0	247	869·0	4·083	1897·663
104. Sophrosyne .	Luther	1873 Sept. 27	11·1	98	864·1	4·106	1898·965
105. 1892 K . . .	Wolf	1892 Okt. 17	12·8	45	861·7	4·118	1897·479
106. Astraea . . .	Hencke	1845 Dez. 8	9·9	171	858·8	4·131	1896·121
107. Ambrosia . .	Coggia	1879 Febr. 28	12·2	59	858·3	4·134	1899·108
108. Egeria	de Gasparis. .	1850 Nov. 2	9·7	187	857·9	4·136	1897·204
109. 1893 R . . .	Charlois . . .	1893 März 12	11·1	103	857·6	4·137	1895·997
110. Althea	Watson	1872 April 3	10·6	130	858·8	4·146	1899·082
111. Dejanira . . .	Borelly	1875 Dez. 1	14·7	20	854·8	4·151	1896·963
112. Helena	Watson	1868 Aug. 15	10·7	124	854·2	4·154	1897·554

Halbachse	Excentricität	Knot. Dist. d. Perihels	Länge des aufst. Knot.	Neigung	Entfernung von ⊙		Planet
					Größte	Kleinste	
2·3843	0·1394	95° 57′	355° 27′	7° 52′	2·7167	2·0519	Devosa.
2·3862	0·2309	141 35	259 48	5 28	2·9371	1·8353	Iris. *
2·3866	0·2427	189 36	144 19	15 21	2·9657	1·8075	Barbara.
2·3866	0·1233	2 32	68 32	5 36	2·6809	2·0923	Metis. *
2·3934	0·1842	267 57	191 46	3 35	2·8343	1·9525	Echo.
2·3951	0·1272	293 14	337 58	5 47	2·6998	2·0904	Ausonia.
2·3982	0·1619	118 28	158 59	20 24	2·7865	2·0099	Atropos.
2·3999	0 2540	88 29	214 22	21 36	3·0094	1·7904	Phocaea.
2·4031	0·2446	27 41	343 25	6 52	2·9908	1·8154	Nausikaa.
2·4048	0·2217	169 46	158 46	15 48	2·9380	1·8716	Olga.
2·4079	0·1448	253 31	206 41	0 41	2·7565	2·0593	Massalia.
2·4117	0·2282	17 57	37 53	3 12	2·9620	1·8614	1892 N. †*
2·4158	0·1876	308 12	106 41	2 10	2·8690	1·9626	Elsa.
2·4190	0·1343	290 5	291 52	2 14	2·7440	2·0940	Polana.
2·4200	0·1879	103 26	202 57	5 59	2·8747	1·9653	Asia.
2·4213	0·1530	340 32	131 15	3 42	2·7919	2·0507	Nysa.
2·4213	0·1153	51 53	7 55	3 26	2·7006	2·1420	Clarissa.
2·4222	0·2606	250 38	335 36	25 46	3·0535	1·7909	Anna.
2·4242	0·2024	236 41	138 48	14 48	2·9150	1·9334	Hebe.
2·4307	0·2030	336 38	344 6	2 18	2·9242	1·9372	Hertha.
2·4314	0·0847	163 24	27 39	5 0	2·6373	2·2255	Beatrix.
2·4319	0·0667	155 33	65 31	4 58	2·5941	2·2697	Vala.
2·4331	0·1292	14 25	324 4	2 37	2·7475	2·1187	Iphigenia.
2·4354	0·1621	246 36	80 28	3 5	2·8302	2·0406	Lutetia. *
2·4357	0·0607	149 22	241 48	1 36	2·5835	2·2879	Thora.
2·4371	0·1625	30 54	47 37	7 47	2·8332	2·0410	Peitho.
2·4387	0·1056	325 21	23 26	2 56	2·6963	2·1811	Velleda.
2·4409	0·2227	233 30	84 31	8 35	2·9846	1·8972	Isis.
2·4418	0·1581	179 53	211 2	1 33	2·8280	2·0556	Fortuna.
2·4452	0 1923	198 20	206 32	4 36	2 9154	1·9750	Eurynome.
2·4478	0·1620	257 13	54 46	3 14	2·8444	2·0512	Tolosa.
2·4503	0·0354	166 9	203 21	5 9	2·5370	2·3636	Phthia.
2·4537	0·0999	193 56	125 19	4 38	2·6987	2·2087	Parthenope.
2·4594	0·2256	86 43	268 44	9 19	3·0142	1·9046	Ampella.
2·4619	0·0438	213 18	50 57	1 55	2·5698	2·3540	Belisana.
2·4704	0·0652	0 58	246 34	4 1	2·6314	2·3094	Lameia.
2·4717	0·1322	137 51	125 14	5 37	2·7985	2·1449	Thetis.
2·4751	0·1754	141 9	148 1	5 6	2·9093	2·0409	Roberta.
2·4754	0·0256	31 40	178 24	16 5	2·5387	2·4121	Svea.
2·4888	0·3314	252 15	260 3	23 32	3·3136	1·6640	Aethra. †*
2·5269	0·1650	173 11	181 23	2 17	2·9439	2·1099	Hestia.
2·5285	0·0290	289 9	43 13	14 51	2·6018	2·4552	Ludovica.
2·5399	0·1083	94 33	352 6	4 21	2·8149	2·2649	1893 E. †*
2·5469	0·1832	42 51	311 52	16 12	3·0168	2·0824	Julia.
2·5537	0·2150	22 1	38 51	7 45	3·1027	2·0047	Valda.
2·5541	0·1731	47 39	152 39	6 4	2·9961	2·1121	Russia.
2·5543	0·0641	156 14	301 24	14 22	2·7181	2·3905	Maria.
2·5545	0·0742	59 42	356 41	6 7	2·7441	2·3649	Amphitrite. *
2·5643	0·1173	81 53	346 13	11 36	2·8650	2·2636	Sophrosyne.
2·5691	0·1268	221 57	232 57	7 21	2·8949	2·2433	1892 K. †*
2·5748	0·1917	353 38	141 24	5 20	3·0683	2·0813	Asträa.
2·5758	0·2854	79 37	351 24	11 39	3·3109	1·8407	Ambrosia. (?)
2·5765	0·0871	76 58	43 12	16 32	2·8009	2·3521	Egeria. *
2·5772	0·0453	30 39	27 27	8 3	2·6941	2·4603	1893 R. †*
2·5809	0·0803	168 2	203 57	5 44	2·7882	2·3736	Althea.
2·5828	0·2105	44 53	62 38	12 2	3·1264	2·0392	Dejanira. †*
2·5841	0·1384	344 6	343 27	10 10	2·9417	2·2265	Helena.

Planet	Entdecker	Entdeck. Zeit	Mittl. Größe	Durchmesser km	Mttl. tgl. Sid. Bew.	Umlfsz. Jahre	Perihel Durchg.
113. Pomona . . .	Goldschmidt . .	1854 Okt. 26	10·6	130	852·6	4·162	1898·188
114. Aegina	Borelli	1866 Nov. 4	11·3	94	851·5	4·167	1896·473
115. Irene	Hind	1851 Mai 19	9·7	196	851·3	4·168	1896·655
116. Abundantia .	Palisa	1875 Nov. 1	11·7	78	850·6	4·171	1898·039
117. Ate	Peters	1870 Aug. 14	11·3	94	850·0	4·174	1897·330
118. Melete	Goldschmidt . .	1857 Sept. 9	11·5	86	847·2	4·188	1899·156
119. Desiderata . .	Charlois . . .	1892 Nov. 15	11·7	82	846·6	4·191	1896·082
120. B. B	Charlois . . .	1894 März 8	11·1	103	844·8	4·200	1898·694
121. Aschera	Palisa	1880 Febr. 29	12·1	65	841·1	4·219	1896·447
122. 1892 Q . . .	Charlois . . .	1892 Nov. 28	12·0	71	840·1	4·224	1898·179
123. Justitia . . .	Palisa	1887 Sept. 21	12·7	49	839·2	4·228	1899·756
124. Panopaea . .	Goldschmidt . .	1861 Mai 5	10·9	113	839·0	4 229	1895·843
125. Tyche	Luther	1886 Mai 4	11·1	103	838·9	4·230	1896·247
126. Kalypso . . .	Luther	1858 April 4	11·5	86	838·4	4·232	1899·839
127. Prokne	Peters	1879 März 21	10·5	136	837·8	4·235	1897·548
128. Diana	Luther	1863 März 15	10·6	130	837·5	4·237	1896·699
129. Thalia	Hind	1852 Dez. 15	10·5	143	833·6	4·257	1896·022
130. Alkeste	Peters	1872 Aug. 23	10·3	156	832·3	4·263	1897·307
131. Fraternitas .	Palisa	1891 April 4	12·7	52	831·7	4·266	1897·056
132. Eva	Paul Henry .	1876 Juli 12	11·5	90	829·5	4·277	1898·606
133. B. M	Charlois . . .	1894 Dez. 19	12·6	54	829·4	4·278	1898·614
134. Fides	Luther	1855 Okt. 10	10·4	149	826·8	4·291	1899·238
135. Eunomia . . .	de Gasparis . .	1851 Juli 29	8·6	341	825·5	4·298	1899·822
136. Maja	Tuttle	1861 April 10	12·2	65	824·9	4·301	1898·528
137. Oceana . . .	Palisa	1882 März 30	11·7	82	824·7	4·302	1896·007
138. Virginia . . .	Ferguson . . .	1857 Okt. 4	11·7	82	823·6	4·308	1896·565
139. Aëria	Borelly	1893 Juli 4	12·9	52	823·3	4·310	1894·464
140. Mathilde . . .	Palisa	1885 Nov. 12	13·4	37	822·8	4·312	1898·199
141. Jo	Peters	1865 Sept. 19	10·9	118	821·1	4·321	1899·911
142. Burdigala . .	Courty	1894 Febr. 11	11·7	82	821·0	4·322	1897·822
143. Proserpina . .	Luther	1853 Mai 5	10·5	142	819·7	4·329	1896·835
144. Vibilia	Peters	1875 Juni 3	10·7	130	819·5	4·330	1898·047
145. B. C	Bigourdan . .	1894 März 24	13·5	41	818·3	4·336	1898·331
146. Asterope . . .	Borelly	1883 Mai 11	11·3	98	818·0	4·338	1897·739
147. Vanadis . . .	Borelly	1884 Aug. 27	12·5	57	817·0	4·343	1896·366
148. Miriam . . .	Peters	1868 Aug. 22	12·6	54	816·9	4·343	1899·015
149. Klytia	Tuttle	1862 April 7	12·0	71	815·6	4·350	1899·991
150. Bianca	Palisa	1880 Sept. 4	11·3	98	815·0	4·353	1896·839
151. Lumen	Paul Henry . .	1885 Jan. 13	11·4	94	814·7	4·355	1899·825
152. Frigga	Peters	1862 Nov. 12	11·1	108	814·3	4·357	1898·109
153. Klotho	Tempel	1868 Febr. 17	10·6	136	813·6	4·361	1897·780
154. Adeona . . .	Peters	1875 Juni 3	11·3	98	812·8	4·365	1895·728
155. Juno	Harding	1804 Sept. 1	8·7	326	812·7	4·366	1896·739
156. Eurydike . . .	Peters	1862 Sept. 22	11·6	86	812·6	4·367	1897·426
157. Kallisto . . .	Palisa	1879 Okt. 8	12·0	75	812·2	4 368	1895·865
158. Kassandra . .	Peters	1871 Juli 23	11·1	113	810·5	4·378	1895·895
159. A. R	Charlois . . .	1894 Jan. 8	12·6	57	810·0	4·381	1896·835
160. Penelope . . .	Palisa	1879 Aug. 7	11·9	78	809·2	4·385	1897·232
161. Angelina . . .	Tempel	1861 März 3	10·5	149	808·5	4·389	1895·830
162. Circe	Chacornac . . .	1855 April 16	11·5	94	806·5	4·400	1898·772
163. (324)	Palisa	1892 Febr. 25	9·9	196	805·7	4·404	1899·570
164. Rhodope . . .	Peters	1876 Aug. 17	12·5	59	805·3	4·406	1899·223
165. Janthe	Peters	1868 April 18	11·6	90	805·1	4·407	1898·800
166. A. N	Charlois . . .	1893 Sept. 20	11.5	94	804·9	4·408	1898·441
167. Asporina . . .	Borelly	1885 März 6	11·7	86	802·3	4·423	1899·419
168. Brunhild . .	Peters	1872 Juli 31	11·8	82	802·2	4·423	1895·892
169. Felicitas . . .	Peters	1869 Okt. 9	12·0	75	800·2	4·434	1896·611

Halbachse	Excentricität	Knot. Dist. d. Perihels	Länge des aufst. Knot.	Neigung	Entfernung von ⊙		Planet
					Größte	Kleinste	
2·5873	0·0830	332° 39′	220° 43′	5° 29′	2·8021	2·3725	Pomona. *
2·5894	0·1060	71 47	10 58	2 8	2·8639	2·3149	Aegina.
2·5899	0·1631	91 56	86 59	9 8	3·0123	2·1675	Irene.
2·5913	0·0370	125 53	39 2	6 28	2·6871	2·4955	Abundantia.
2·5926	0·1041	163 35	306 31	4 56	2·8625	2·3227	Ate.
2·5982	0·2339	100 54	194 7	8 3	3·2058	1·9906	Melete.
2·5995	0·3080	233 50	49 2	18 38	3·4001	1·7989	Desiderata.
2·6031	0·0638	261 37	282 47	8 8	2·7693	2·4369	B. B.
2·6109	0·0329	129 30	342 33	3 28	2·6968	2·5250	Aschera.
2·6129	0·1658	83 17	86 0	11 42	3·0460	2·1798	1892 Q.
2·6147	0·2137	115 40	157 30	5 26	3·1738	2·0556	Justitia.
2·6152	0·1800	252 49	48 16	11 38	3·0860	2·1444	Panopaea.
2·6155	0·2060	151 57	207 49	14 14	3·1543	2·0767	Tyche.
2·6164	0·2073	310 6	143 48	5 7	3·1587	2·0741	Kalypso.
2·6176	0·2382	160 23	159 22	18 24	3·2411	1·9941	Prokne.
2·6187	0·2096	149 10	333 52	8 41	3·1674	2·0700	Diana.
2·6265	0·2353	56 2	67 52	10 13	3·2445	2·0085	Thalia.
2·6292	0·0778	58 15	188 28	2 56	2·8337	2·4247	Alkeste.
2·6305	0·0877	332 8	358 0	3 56	2·8612	2·3998	Fraternitas. †*
2·6352	0·3454	282 1	77 32	24 25	3·5454	1·7250	Eva.
2·6353	0·2383	137 47	228 34	12 43	3·2634	2·0072	B. M. †*
2·6408	0·1785	59 15	8 3	3 6	3·1121	2·1695	Fides.
2·6437	0·1873	94 0	293 52	11 44	3·1387	2·1487	Eunomia. *
2·6448	0·1752	40 21	8 18	3 5	3·1082	2·1814	Maja.
2·6454	0·0424	276 55	353 32	5 52	2·7576	2·5332	Oceana.
2·6477	0·2885	196 48	173 47	2 49	3·4115	1·8839	Virginia.
2·6482	0·0963	266 32	94 29	12 44	2·9032	2·3932	Aëria.
2·6493	0·2629	153 11	180 18	6 37	3·3457	1·9529	Mathilde.
2·6531	0·1938	120 16	203 47	11 54	3·1673	2·1389	Io.
2·6532	0·1480	29 47	48 3	5 39	3·0458	2·2606	Burdigala.
2·6561	0·0873	190 30	45 55	3 36	2·8881	2·4241	Proserpina. *
2·6565	0·2330	290 44	76 54	4 48	3·2753	2·0377	Vibilia.
2·6590	0·1301	189 4	305 22	12 9	3·0050	2·3130	B. C. †*
2·6598	0·1011	122 56	222 33	7 39	2·9286	2·3910	Asterope.
2·6619	0·2094	297 28	114 58	2 6	3·2194	2·1044	Vanadis.
2·6621	0·2511	143 4	211 40	5 5	3·3306	1·9936	Miriam.
2·6649	0·0434	53 41	7 38	2 24	2·7806	2·5492	Klytia.
2·6662	0·1161	59 2	171 3	15 12	2·9758	2·3566	Bianca.
2·6670	0·2127	54 14	319 20	11 59	3·2344	2·0996	Lumen.
2·6677	0·1337	56 52	2 5	2 28	3·0245	2·3109	Frigga.
2·6694	0·2570	264 34	160 50	11 46	3·3554	1·9834	Klotho.
2·6711	0·1468	41 4	77 42	12 42	3·0633	2·2789	Adeona.
2·6714	0·2544	244 26	170 48	13 2	3·3510	1·9918	Juno.
2·6715	0·3046	335 40	359 59	5 0	3·4853	1·8577	Eurydike.
2·6723	0·1712	51 17	205 54	8 17	3·1299	2·2147	Kallisto.
2·6761	0·1379	348 48	164 33	4 54	3·0452	2·3070	Kassandra.
2·6772	0·1155	237 32	95 16	6 10	2·9864	2·3680	A. R.
2·6791	0·1785	177 55	157 16	5 43	3·1574	2·2008	Penelope.
2·6805	0·1276	174 12	310 41	1 20	3·0226	2·3384	Angelina.
2·6850	0·1090	325 24	184 54	5 27	2·9776	2·3924	Circe.
2·6867	0·3360	40 23	329 8	11 19	3·5896	1·7834	(324)
2·6875	0·2097	261 17	129 34	12 1	3·2511	2·1239	Rhodope.
2·6880	0·1879	154 54	354 19	15 34	3·1931	2·1829	Janthe.
2·6885	0·0774	192 40	210 36	6 40	2·8965	2·4805	A. N.
2·6944	0·1053	94 5	162 46	15 38	2·9782	2·4106	Asporina.
2·6946	0·1210	122 41	308 31	6 26	3·0206	2·3686	Brunhild.
2·6991	0·2951	52 17	4 35	8 1	3·4955	1·9027	Felicitas.

Planet	Entdecker	Entdeck. Zeit	Mittl. Größe	Durchmesser km	Mttl. tgl. Sid. Bew.	Umlfsz. Jahre	Perihel Durchg.
170. Concordia . .	Luther	1860 März 24	11·6	90	799·6	4·438	1895·815
171. Hera	Watson	1868 Sept. 7	10·2	171	799·2	4·440	1899·403
172. Alexandra . .	Goldschmidt . .	1858 Sept. 10	10·9	124	795·5	4·460	1898·535
173. 1893 F . . .	Wolf	1893 Febr. 16	14·2	27	794·6	4·465	1897·021
174. Elpis	Chacornac. . .	1860 Sept. 12	10·9	124	794·0	4·469	1896·618
175. Weringia . .	Palisa	1882 Juli 19	13·0	47	793·2	4·473	1896·740
176. Lucina	Borelly	1875 Juni 8	11·1	118	791·1	4·485	1897·470
177. Eugenia . . .	Goldschmidt . .	1857 Juni 26	10·7	142	791·1	4·485	1897·589
178. Garumna . .	Perrotin. . . .	1878 Jan. 29	13·3	43	790·7	4·488	1895·999
179. Isabella . . .	Palisa	1879 Nov. 12	12·5	62	790·4	4·489	1897·830
180. Una	Peters.	1876 Febr. 20	11·8	86	787·5	4·506	1897·560
181. Bavaria . . .	Palisa	1890 Nov. 16	12·2	71	787·4	4·506	1898·019
182. Siwa	Palisa	1874 Okt. 13	11·4	103	786·6	4·511	1896·575
183. A. D	Charlois . . .	1893 Juli 16	11·8	86	786·3	4·512	1897·655
184. Lydia	Borelly	1870 April 19	10·5	156	786·0	4·515	1899·192
185. Lamberta . .	Coggia	1878 April 11	11·4	103	785·4	4·518	1896·461
186. Pompeja . . .	Peters.	1879 Sept. 25	11·7	90	784·1	4·525	1898·201
187. Dynamene . .	Peters.	1879 Juli 27	11·0	124	783·2	4·530	1898·656
188. Eunike	Peters.	1878 März 1	10·4	163	782·9	4·532	1898·928
189. Leda	Chacornac. . .	1856 Jan. 12	11·4	103	782·4	4·535	1896·703
190. Herfilia . . .	Peters.	1879 Okt. 13	12·0	78	782·4	4·535	1898·744
191. Eukrate . . .	Luther.	1885 März 14	11·0	124	781·9	4·538	1896·342
192. Arete.	Palisa	1879 Mai 21	12·7	57	781·5	4·540	1898·357
193. Liberatrix . .	Prosper Henry	1872 Sept. 11	11·2	113	781·3	4·541	1899·036
194. Ino	Borelly	1877 Aug. 1	11·0	124	780·7	4·545	1896·151
195. Polyxo. . . .	Borelly	1891 März 31	11·0	124	780·3	4·547	1897·133
196. Oppavia . . .	Palisa	1886 März 31	13·8	34	780·1	4·549	1899·433
197. A. Z.	Courty	1894 März 5	9·8	215	779·9	4·550	1895·582
198. Eduarda . . .	Wolf	1892 Sept. 25	12·9	52	778·9	4·556	1897·897
199. Atalante . . .	Goldschmidt . .	1855 Okt. 5	12·0	78	778·6	4·557	1897·065
200. 1893 S . . .	Charlois . . .	1893 März 17	11·6	94	778·0	4·561	1895·660
201. Nemesis . . .	Watson	1872 Nov. 25	10·6	149	777·7	4·563	1899 779
202. Lilaea	Peters.	1880 Febr. 16	11·7	90	776·8	4·567	1899·809
203. Minerva . . .	Watson	1867 Aug. 24	10·8	136	776·4	4·570	1898·913
204. Niobe	Luther.	1861 Aug. 13	10·7	142	776·3	4·571	1897·038
205. Johanna. . .	Prosper Henry	1872 Nov. 5	10·5	156	775·9	4·573	1896·706
206. Paulina . . .	Palisa	1888 Mai 16	12·7	57	774·9	4·579	1897·109
207. Pandora . . .	Searle	1858 Sept. 10	10·8	136	774·5	4·582	1895·448
208. Margarita . .	Charlois . . .	1891 Mai 16	13·5	39	774·2	4·583	1899·982
209. Glauke	Luther.	1890 Febr. 20	12·5	62	774·1	4·584	1899·748
210. 1893 G . . .	Charlois . . .	1893 Jan. 21	11·9	82	773·4	4·588	1897·149
211. Adria	Palisa	1875 Febr. 23	12·4	65	773·4	4·588	1898·921
212. Coelestina . .	Palisa	1884 Juni 27	12·8	54	772·8	4·592	1898·506
213. Alkmene . . .	Luther.	1864 Nov. 27	11·7	90	772·8	4·592	1897·675
214. Oenone . . .	Knorre	1880 April 7	12·8	54	771·5	4·599	1895·780
215. Daphne . . .	Goldschmidt . .	1856 Mai 22	10·5	163	771·3	4·600	1898·044
216. Thisbe	Peters.	1866 Juni 15	10·8	136	771·2	4·601	1899·106
217. 1892 V . . .	Wolf	1892 Dez. 16	12·2	71	771·1	4·601	1897·946
218. B. H	Borelly	1894 Nov. 19	13·0	49	771·1	4·602	1898·787
219. Ceres	Piazzi	1801 Jan. 1	7·4	804	770·5	4·605	1898·609
220. Sirona. . . .	Peters.	1871 Sept. 8	10·7	142	770·4	4·606	1896·628
221. Lätitia	Chacornac. . .	1856 Febr. 8	9·5	259	770·2	4·607	1895·617
222. Sapientia . .	Palisa	1888 April 15	12·0	82	769·8	4·609	1897·239
223. Irma	Paul Henry .	1877 Nov. 5	12·4	65	769·0	4·614	1896·131
224. Gallia	Prosper Henry	1875 Aug. 7	11·0	130	768·9	4·614	1896·235
225. Pallas	Olbers	1802 März 28	8·0	486	768·4	4·618	1898·581
226. B. G	Wolf	1894 Nov. 4	11·0	124	768·3	4·618	1898·594

Halbachse	Excentricität	Knot. Dist. d. Perihels	Länge des aufst. Knot.	Neigung	Entfernung von ⊙ Größte	Entfernung von ⊙ Kleinste	Planet
2·7004	0·0426	27° 50′	161° 20′	5° 2′	2·8153	2·5855	Concordia.
2·7013	0·0793	185 30	136 18	5 25	2·9156	2·4870	Hera.
2·7096	0·1999	341 54	313 54	11 48	3·2512	2·1680	Alexandra.
2·7117	0·3227	318 29	103 6	5 32	3·5869	1·8365	1893 F. (?)
2·7131	0·1173	207 58	170 50	8 37	3·0312	2·3950	Elpis.
2·7148	0·2031	150 9	135 31	15 50	3·2662	2·1634	Weringia.
2·7196	0·0650	140 32	84 23	13 6	2·8963	2·5429	Lucina.
2·7197	0·0826	82 43	148 8	6 35	2·9443	2·4951	Eugenia.
2·7207	0·1693	169 45	314 43	0 54	3·1813	2·2601	Garumna.
2·7214	0·1250	11 2	33 5	5 18	3·0615	2·3813	Isabella.
2·7280	0·0661	46 40	9 18	3 51	2·9082	2·5478	Una.
2·7282	0·0608	115 42	142 30	4 52	2·8942	2·5622	Bavaria.
2·7301	0·2164	193 23	107 7	3 12	3·3208	2·1394	Siwa.
2·7307	0·0600	338 39	284 8	7 32	2·8945	2·5669	A. D.
2·7316	0·0807	279 6	57 21	6 0	2·9519	2·5113	Lydia.
2·7329	0·2365	191 44	22 16	10 42	3·3792	2·0866	Lamberta.
2·7359	0·0615	54 14	348 39	3 12	2·9041	2·5677	Pompeja.
2·7379	0·1342	82 42	325 26	6 55	3·1052	2·3706	Dynamene.
2·7387	0·1251	221 36	153 55	23 14	3·0812	2·3962	Eunike.
2·7397	0·1541	166 9	296 29	6 58	3·1619	2·3175	Leda.
2·7399	0·0407	300 24	145 26	3 45	2·8514	2·6284	Hersilia.
2·7410	0·2405	52 55	0 27	25 7	3·4002	2·0818	Eukrate.
2·7419	0·1597	242 43	82 3	8 50	3·1799	2·3039	Arete.
2·7424	0·0788	104 41	169 29	4 38	2·9586	2·5262	Liberatrix.
2·7439	0·2058	224 36	148 45	14 16	3·3086	2·1792	Ino.
2·7447	0·0295	115 13	182 20	4 21	2·8257	2·6637	Polixo.
2·7452	0·0815	149 8	14 14	9 31	2·9689	2·5215	Oppavia.
2·7457	0·2395	152 58	128 32	17 57	3·4003	2·0881	A. Z.
2·7481	0·1196	38 20	27 39	4 43	3·0767	2·4195	Eduarda. †*
2·7486	0·2994	43 54	359 12	18 40	3·5715	1·9257	Atalante.
2·7501	0·0709	291 8	64 55	5 58	2·9452	2·5550	1893 S.
2·7509	0·1248	300 4	76 44	6 15	3·0942	2·4076	Nemesis.
2·7528	0·1452	158 52	122 28	6 46	3·1524	2·3532	Lilaea.
2·7539	0·1405	270 55	4 57	8 35	3·1409	2·3669	Minerva.
2·7541	0·1754	265 36	316 18	23 17	3·2371	2·2711	Niobe.
2·7551	0·0661	90 26	31 46	8 16	2·9373	2·5729	Johanna.
2·7575	0·1323	137 25	62 37	7 50	3·1246	2·3904	Paulina.
2·7585	0·1446	0 47	11 5	7 13	3·1575	2·3595	Pandora.
2·7592	0·1160	318 27	230 37	3 7	3·0793	2·4391	Margarita. †
2·7595	0 2058	80 39	121 1	4 20	3·3274	2·1916	Glauke.
2·7609	0·2406	73 42	356 13	8 17	3·4252	2·0966	1893 G. †*
2·7610	0·0722	248 48	333 46	11 30	2·9603	2·5617	Adria.
2·7625	0·0717	195 46	84 42	9 47	2·9605	2·5645	Coelestina.
2·7625	0·2220	107 18	26 32	2 51	3·3757	2·1493	Alkmene.
2·7655	0·0362	317 49	25 26	1 43	2·8656	2·6654	Oenone.
2·7661	0·2665	42 2	178 55	15 55	3·5033	2·0289	Daphne.
2·7663	0·1639	30 52	277 43	5 15	3·2198	2·3128	Thisbe.
2·7665	0·1548	28 29	99 37	9 10	3·1948	2·3382	1892 V.
2·7665	0·2282	265 38	68 9	6 16	3·3979	2·1351	B. H. †*
2·7679	0·0767	70 29	80 42	10 37	2·9802	2·5556	Ceres.
2·7682	0·1403	89 5	64 35	3 35	3·1567	2·3797	Sirona.
2·7686	0·1115	205 8	157 25	10 22	3·0772	2·4600	Lätitia.
2·7696	0·1639	31 41	134 50	4 45	3·2237	2·3155	Sapientia.
2·7716	0·2344	33 10	349 25	1 27	3·4213	2·1219	Irma.
2·7717	0·1848	251 31	145 4	25 20	3·2839	2·2595	Gallia.
2·7730	0·2370	309 8	172 54	34 41	3·4303	2·1157	Pallas.
2·7731	0·3293	85 38	215 2	14 52	3·6863	1·8599	B. G.

Planet	Entdecker	Entdeck. Zeit	Mittl. Größe	Durchmesser km	Mttl. tgl. Sid. Bew.	Umlfsz. Jahre	Perihel Durchg.
227. Tirza	Charlois . . .	1887 Mai 27	14·0	33	768·1	4·619	1896·765
228. Bellona . . .	Luther	1854 März 1	10·1	196	766·9	4·627	1899·999
229. Antonia . . .	Charlois . . .	1888 Febr. 4	13·6	39	766·4	4·630	1896·805
230. Phaeo	Borelly	1891 Nov. 27	12·3	71	766·2	4·631	1896·043
231. Martha . . .	Palisa	1879 Okt. 13	12·7	59	765 9	4·633	1898·254
232. Galatea . . .	Tempel	1862 Aug. 29	11·8	90	765·5	4·635	1899·881
233. A. K	Charlois . . .	1893 Sept. 18	11·7	94	765·2	4·637	1896·856
234. Leto	Luther	1861 April 29	10 5	163	764·6	4·641	1899·881
235. B. K	Charlois . . .	1894 Nov. 30	13·0	52	764·4	4·642	1897·803
236. Juewa	Watson	1874 Okt. 10	10·9	136	764·3	4·643	1899·692
237. A. P	Charlois . . .	1893 Dez. 6	12·6	62	764·2	4·643	1898·152
238. Pierretta . . .	Charlois . . .	1891 Aug. 28	12·5	65	764·1	4·644	1899·978
239. Columbia . .	Charlois . . .	1892 März 22	13·0	52	763·8	4 645	1898·117
240. Istria	Palisa	1878 Febr. 8	12·6	62	761·0	4·663	1896·052
241. Kleopatra . .	Palisa	1880 April 9	10·1	196	759·8	4 670	1896·897
242. 1893 A . . .	Charlois . . .	1893 Jan. 17	10·0	205	758·8	4·676	1897·982
243. Dike	Borelly	1868 Mai 28	14·0	33	758·7	4·677	1896·611
244. 1892 P . . .	Charlois . . .	1892 Nov. 25	11·5	103	758·5	4·678	1897·144
245. Honoria . . .	Palisa	1884 April 26	11·4	108	758·1	4·680	1895·559
246. Theresia . . .	Palisa	1890 Aug. 17	13·5	41	758·0	4·681	1896·100
247. Libussa	Peters	1886 Dez. 17	12·1	78	757·5	4·684	1896·185
248. 1893 V . . .	Charlois . . .	1893 März 21	12·2	75	756·5	4 690	1896·094
249. Aline	Palisa	1887 Mai 17	11·7	94	753·2	4·711	1898·487
250. B. L.	Charlois . . .	1894 Dez. 1	13·2	47	752·2	4·717	1896·565
251. Menippe . . .	Peters	1878 Juni 18	13·0	54	748·8	4 738	1897·947
252. A. X	Wolf	1894 März 1	10·3	187	738·1	4·807	1899·063
253. Terpsichore . .	Tempel	1864 Sept. 30	11·8	94	736·8	4·816	1898·874
254. Urda	Peters	1876 Aug. 29	13·0	54	736·1	4·820	1895·411
255. Phädra . . .	Watson	1877 Sept. 2	11·6	103	732·9	4·841	1896 013
256. Kriemhild . .	Palisa	1884 Sept. 22	12·6	65	732·9	4·841	1895·529
257. Ida	Palisa	1884 Sept. 29	13·3	47	732·6	4·843	1899·841
258. Antigone . . .	Peters	1873 Febr. 5	10·3	196	731·2	4·850	1898·491
259. Polyhymnia .	Chacornac . . .	1854 Okt. 28	11·8	94	730·9	4·855	1898·146
260. Brasilia . . .	Charlois . . .	1890 Mai 20	12·9	59	730·8	4·855	1898·921
261. Eudora . . .	Coggia	1880 Aug. 30	13·1	52	730·3	4·859	1899·897
262. Koronis . . .	Knorre	1876 Jan. 4	12·3	75	730·1	4·860	1899·763
263. Nenetta . . .	Charlois . . .	1890 März 10	12·5	71	728·1	4·873	1898·210
264. Euryklea . . .	Palisa	1879 April 22	12·3	78	726 6	4·883	1897·840
265. Aglaja	Luther	1857 Sept. 17	11·2	130	726·4	4·884	1896·352
266. Carolina . . .	Palisa	1883 Nov. 28	12·2	82	725·8	4·889	1896·710
267. 1893 K . . .	Charlois . . .	1893 März 8	12·5	71	725·5	4 891	1896·898
268. Elvira	Charlois . . .	1888 Mai 3	13·1	54	724·3	4·899	1895·207
269. Florentina . .	Palisa	1891 Okt. 15	12·2	82	724·1	4·900	1897·176
270. Dresda . . .	Palisa	1886 Nov. 3	13·3	49	723·5	4·904	1896·343
271. Claudia . . .	Charlois . . .	1891 Juni 11	13·0	57	722·0	4·915	1899·668
272. Lacrimosa . .	Palisa	1879 Okt. 21	12·1	86	720·9	4·922	1895·657
273. Kolga	Peters	1878 Sept. 30	12·0	90	719·6	4·931	1898·763
274. A. Y	Wolf	1894 März 1	10 5	179	718·9	4 935	1897·371
275. Nike	Charlois . . .	1891 März 5	13·1	54	716·1	4·955	1895·111
276. Hypatia . . .	Knorre	1884 Juli 1	11·7	103	715·6	4·958	1895·209
277. Kalliope . . .	Hind	1852 Nov. 16	9·8	247	714·2	4·968	1897·411
278. Scylla	Palisa	1875 Nov. 8	13·5	45	713·8	4·971	1896·025
279. Boudrosa . .	Charlois . . .	1892 Sept. 25	12·1	86	713·0	4·976	1898·036
280. Dembowska .	Charlois . . .	1892 Dez. 9	9·8	259	711·2	4·989	1897·124
281. Vindobona . .	Palisa	1882 Sept. 10	12·4	78	711 0	4·991	1896·570
282. Psyche	de Gasparis . .	1852 März 17	9·6	271	710·0	4·997	1895·364
283. Philia	Palisa	1888 Okt. 29	14·4	31	700·0	5·069	1899·651

Halbachse	Excentricität	Knot. Dist. d. Perihels	Länge des aufst. Knot.	Neigung	Entfernung von ⊙		Planet
					Größte	Kleinste	
2·7736	0·0981	190° 24′	74° 9′	6° 1′	3·0457	2·5015	Tirza.
2·7766	0·1515	338 54	144 39	9 22	3·1974	2·3558	Bellona.
2·7779	0 0294	59 16	37 59	4 28	2·8596	2·6962	Antonia.
2·7783	0·2455	109 57	254 14	7 57	3·4604	2 0962	Phaeo.
2·7790	0·0334	172 9	212 26	10 40	2·8719	2·6861	Martha.
2·7801	0 2358	170 28	197 58	4 0	3·4358	2·1244	Galatea.
2·7806	0·0943	19 42	219 8	9 9	3·0428	2·5184	A. K.
2·7822	0·1854	300 27	44 58	7 58	3·2979	2·2665	Leto.
2·7827	0·1265	239 6	20 45	3 32	3·1348	2·4306	B. K. †*
2·7830	0·1729	161 48	2 26	10 55	3·2641	2·3019	Juewa.
2·7830	0·1311	155 0	233 14	6 59	3·1478	2·4182	A. P.
2·7835	0·1592	257 42	7 35	9 6	3·2267	2·3403	Pierretta.
2·7841	0·0728	298 37	355 30	7 7	2·9867	2·5815	Columbia. †*
2·7910	0·3470	262 16	143 5	26 26	3·7594	1·8226	Istria.
2·7940	0·2508	176 12	216 0	13 2	3·4946	2·0934	Kleopatra.
2·7963	0·1127	4 24	140 37	18 22	3 1113	2·4813	1893 A.
2 7967	0 2384	198 52	42 2	13 53	3·4634	2·1300	Dike. (?)
2·7970	0·1046	285 12	92 23	8 46	3·0897	2·5043	1892 P.
2·7980	0·1893	170 30	186 41	7 37	3·3277	2·2683	Honoria.
2·7983	0·1679	143 12	277 44	2 40	3 2681	2·3285	Theresia.
2·7995	0·1350	336 35	50 5	10 27	3 1775	2·4215	Libussa.
2·8019	0·1403	208 11	185 46	12 38	3·1950	2·4088	1893 V. †*
2·8101	0·1587	147 56	236 30	13 24	3·2561	2·3641	Aline.
2·8126	0·0863	315 39	250 47	2 6	3·0554	2·5698	B. L. (?)
2·8211	0·2173	67 53	241 55	11 21	3·4342	2·2080	Menippe. (?)
2·8483	0·1308	186 37	345 45	13 40	3·2208	2·4758	A. X. (?)
2·8517	0·2119	46 22	2 27	7 55	3·4559	2·2475	Terpsichore.
2·8535	0·0347	122 16	166 30	2 11	2·9525	2·7545	Urda.
2·8617	0·1408	285 17	329 0	12 8	3·2648	2·4586	Phädra.
2·8618	0·1234	274 29	208 8	11 17	3·2149	2·5087	Kriemhild.
2·8625	0·0430	106 18	326 34	1 10	2·9856	2·7394	Ida.
2·8653	0·2127	103 51	137 50	12 10	3·4747	2·2559	Antigone.
2·8671	0·3354	334 18	9 11	1 55	3·8288	1·9054	Polyhymnia.
2·8672	0·1184	82 22	62 13	15 45	3·2067	2·5277	Brasilia. †*
2·8686	0·3093	150 24	164 9	10 17	3·7559	1·9813	Eudora.
2·8690	0·0566	140 59	280 51	1 0	3·0312	2·7068	Koronis.
2·8745	0·2046	186 10	182 41	6 39	3·4627	2·2863	Nenetta.
2·8784	0·0421	117 29	7 46	7 1	2·9997	2·7571	Eurykles.
2·8788	0·1342	310 25	4 4	5 1	3·2652	2·4924	Aglaja.
2·8805	0·0608	207 31	66 35	9 4	3·0556	2·7054	Carolina.
2·8812	0·1468	248 19	172 54	3 31	3·3041	2·4583	1893 K. †
2·8845	0·0900	129 31	233 46	1 8	3·1442	2·6248	Elvira.
2·8849	0·0438	30 10	40 36	2 37	3·0112	2·7587	Florentina.
2·8866	0·0778	154 38	217 48	1 17	3·1111	2·6621	Dresda.
2·8906	0·0228	60 14	81 19	3 16	2·9566	2·8246	Claudia.
2·8936	0·0168	108 48	5 18	1 47	2·9423	2 8449	Lacrimosa.
2·8971	0·0908	225 4	159 51	11 29	3 1601	2·6341	Kolga.
2·8988	0·1790	218 3	167 11	20 30	3·4178	2·3798	A. Y. †*
2·9064	0·1457	320 15	101 39	6 7	3·3298	2·4830	Nike. †
2·9078	0·0864	205 50	184 30	12 22	3·1591	2·6565	Hypatia.
2·9115	0·0990	351 30	66 35	13 44	3·1996	2·6234	Kalliope.
2·9127	0·2559	39 9	43 4	14 4	3·6579	2·1675	Scylla. (?)
2·9147	0·0221	106 51	288 48	6 2	2·9793	2·8501	Boudrosa.
2·9198	0·0909	340 4	33 6	8 17	3·1851	2·6545	Dembowska.
2·9203	0·1545	263 29	352 17	5 8	3·3715	2·4691	Vindobona.
2·9230	0·1333	224 41	150 33	3 4	3·3125	2·5335	Psyche.
2·9509	0·1208	84 8	11 18	7 26	3·3074	2·5944	Philia.

Planet	Entdecker	Entdeck. Zeit	Mittl. Größe	Durchmesser km	Mttl. tgl. Sid. Bew.	Umlfsz. Jahre	Perihel Durchg.
284. 1892 R . . .	Charlois . . .	1892 Nov. 28	12·9	62	695·4	5·103	1898·389
285. Klytemnestra.	Watson	1877 Nov. 11	11·5	118	692·8	5·121	1898·058
286. Adrastea . . .	Palisa	1884 Aug. 18	14·2	34	691·3	5·133	1895·425
287. Hesperia . . .	Schiaparelli . .	1861 April 29	10·7	179	689·7	5·145	1896·676
288. Nuwa	Watson	1875 Okt. 18	11·6	118	689·3	5·148	1896·084
289. Danaë	Goldschmidt . .	1860 Sept. 9	11·0	156	688·9	5·150	1896·792
290. Lomia	Borelly	1871 Sept. 12	11·4	130	685·8	5·174	1898·158
291. Leucothea . .	Luther	1855 April 19	12·2	90	684·7	5·182	1896·861
292. B. A	Charlois . . .	1894 März 7	11·7	113	684·5	5·183	1896·636
293. Wilhelmina .	Wolf	1894 Nov. 4	12·2	90	683·3	5·193	1899·427
294. Walpurga . .	Palisa	1886 April 3	13·2	57	683·1	5·195	1897·068
295. Penthesilea .	Knorre	1887 Okt. 13	12·8	68	683·0	5·195	1898·228
296. 1893 N . . .	Charlois . . .	1893 März 11	11·9	103	681·8	5·204	1897·054
297. Katharina . .	Palisa	1891 Okt. 11	14·2	36	679·0	5·226	1896·835
298. Eos	Palisa	1882 Jan. 18	11·2	142	678·3	5·231	1895·263
299. Dorothea . .	Wolf	1892 Sept. 25	12·8	71	678·0	5·233	1897·515
300. Laurentia . .	Prosper Henry	1876 April 22	12·3	86	676·7	5·243	1896·545
301. Etheridgea . .	Charlois . . .	1892 April 1	12·5	82	673·5	5·268	1899·536
302. Xanthippe . .	Palisa	1875 Nov. 22	11·9	108	670·2	5·294	1898·161
303. Philagoria . .	Palisa	1888 April 3	13·6	49	669·4	5·301	1899·562
304. Emma	Charlois . . .	1889 Febr. 8	11·8	113	668·7	5·306	1897·728
305. Ismene	Palisa	1879 Dez. 10	11·5	130	668·0	5·312	1895·882
306. Germania . .	Luther	1884 Sept. 12	11·4	136	666·2	5·326	1895·132
307. A. B	Charlois . . .	1893 Mai 19	13·5	52	664·0	5·344	1899·518
308. Aegle	Coggia	1868 Febr. 17	11·4	136	663·8	5·345	1894·984
309. Cyrene	Watson	1873 Aug. 16	11·3	142	663·3	5·349	1899·229
310. B. P	Wolf	1895 Febr. 23	13·0	65	663·1	5·351	1895·348
311. Regina . . .	Charlois . . .	1889 Aug. 3	14·9	27	661·5	5·364	1895·031
312. Arethusa . . .	Luther	1867 Nov. 23	11·3	142	659·9	5·377	1899·907
313. Chryseis . . .	Peters	1879 Sept. 11	10·7	187	659·0	5·384	1897·837
314. Adorea	Borelly	1887 Juni 9	12·5	82	653·2	5·432	1897·343
315. Rosa	Palisa	1882 März 9	13·3	59	652·9	5·434	1897·797
316. Hekate	Watson	1868 Juli 7	11·9	113	652·9	5·434	1895·682
317. Gordonia . .	Charlois . . .	1891 Febr. 16	12·5	86	652·7	5·436	1896·081
318. Europa . . .	Goldschmidt . .	1858 Febr. 4	10·3	236	651·8	5·444	1895·697
319. Vera	Pogson	1885 Febr. 6	12·5	82	651·1	5·449	1895·067
320. Sophia . . .	Palisa	1885 Okt. 4	13·6	49	651·1	5·450	1897·698
321. Pales	Goldschmidt . .	1857 Sept. 19	11·0	163	650·6	5·453	1896·171
322. Semele . . .	Tietjen	1866 Jan. 4	12·4	90	650·6	5·454	1898·715
323. Gudrun . . .	Wolf	1892 März 18	12·3	94	647·5	5·480	1896·656
324. Aemilia . . .	Paul Henry .	1876 Jan. 26	12·3	94	647·0	5·484	1898·457
325. Elektra	Peters	1873 Febr. 17	10·6	205	646·7	5·486	1898·993
326. A. T	Charlois . . .	1894 Jan. 29	12·1	98	646·2	5·491	1895·229
327. Philomela . .	Peters	1879 Mai 14	10·3	225	645·8	5·494	1897·629
328. Doris	Goldschmidt . .	1857 Sept. 19	10·9	179	645·5	5·497	1897·462
329. Meliboea . .	Palisa	1874 April 21	11·8	118	645·5	5·497	1897·635
330. Medea	Palisa	1880 Febr. 2	12·2	98	645·4	5·497	1895·576
331. Lachesis . . .	Borelly	1872 April 10	11·7	124	645·0	5·501	1894·784
332. Silesia	Palisa	1886 April 5	12·8	75	644·8	5·502	1895·196
333. Adelheid . . .	Palisa	1888 April 17	11·2	118	644·5	5·506	1898·040
334. A. J	Charlois . . .	1893 Sept. 15	12·8	75	644·3	5·507	1899·172
335. U	Charlois . . .	1892 Dez. 14	12·7	78	644·1	5·509	1898·314
336. Josefina . . .	Millosevich . .	1891 Febr. 12	11·9	118	643·8	5·511	1895·438
337. Eucharis . . .	Cottenot . . .	1878 Febr. 2	11·5	136	643·5	5·514	1899·653
338. A. U	Charlois . . .	1894 Jan. 29	13·3	59	643·3	5·515	1898·637
339. Badenia . . .	Wolf	1892 Aug. 23	12·7	78	642·6	5·522	1898·567
340. Erato	Förster & Lesser	1860 Sept. 14	12·3	94	642·6	5·522	1899·827

Halbachse	Excentricität	Knot. Dist. d. Perihels	Länge des aufst. Knot.	Neigung	Entfernung von ⊙		Planet
					Größte	Kleinste	
2·9638	0·0655	2° 28′	90° 40′	9° 44′	3·1580	2·7696	1892 R.
2·9712	0·1141	102 11	253 20	7 47	3·3101	2·6323	Klytemnestra.
2·9755	0·2271	205 15	181 40	6 8	3·6528	2·2982	Adrastea.
2·9802	0·1676	284 44	186 41	8 30	3·4798	2·4806	Hesperia.
2·9814	0·1277	146 43	207 40	2 8	3·3621	2·6007	Nuwa.
2·9823	0·1660	8 54	334 18	18 16	3·4773	2·4873	Danaë.
2·9914	0·0274	49 18	349 34	14 56	3·0734	2 9094	Lomia.
2·9946	0·2228	205 48	355 56	8 12	3·6617	2·3275	Leukothea.
2·9951	0·0648	336 55	355 25	6 32	3·1892	2·8010	B. A. †*
2·9988	0·1943	134 52	212 8	16 12	3·5814	2·4162	Wilhelmina. (?)
2·9994	0·0649	38 38	183 57	13 20	3·1941	2·8047	Walpurga.
2·9996	0·1017	48 52	337 26	3 36	3·3047	2·6945	Penthesilea.
3·0031	0·1690	284 3	133 43	11 38	3·5105	2·4957	1893 N. †*
3·0114	0·1157	145 45	221 7	9 17	3·3599	2·6629	Katharina. (?)
3·0135	0·1018	187 22	142 40	10 51	3·3203	2·7067	Eos.
3·0142	0·1067	154 3	174 35	9 56	3·3357	2·6927	Dorothea. †*
3·0181	0 1835	106 18	38 12	6 5	3·5719	2·4643	Laurentia.
3·0276	0 0963	332 6	23 17	6 7	3·3192	2·7360	Etheridgea.
3·0375	0·2637	269 46	246 23	7 29	3·8385	2·2365	Xanthippe. (?)
3·0402	0·1233	115 23	93 46	3 41	3·4149	2 6655	Philagoria.
3·0423	0·1521	51 33	305 55	8 4	3·5051	2 5795	Emma.
3·0444	0·1585	170 22	265 22	3 52	3·5269	2·5619	Isolda.
3·0497	0·0967	69 58	272 28	5 31	3·3447	2·7547	Germania.
3·0566	0·1932	85 7	229 59	7 48	3·6470	2·4662	A. B. †*
3·0570	0·1332	200 15	322 39	16 2	3·4642	2·6498	Aegle.
3·0586	0·1406	284 23	321 17	7 14	3·4886	2·6286	Cyrene.
3·0591	0·0721	188 18	347 21	13 3	3·2796	2·8386	B. P. †
3·0643	0·2067	12 29	312 10	17 17	3·6976	2·4310	Regina. †*
3·0691	0·1515	150 46	244 1	12 56	3·5340	2·6042	Arethusa.
3·0719	0·1020	355 3	137 46	8 49	3·3851	2·7587	Chryseis.
3·0902	0·1377	59 30	121 48	2 25	3·5158	2·6646	Adorea.
3·0909	0·1210	58 36	48 42	1 59	3·4649	2·7169	Rosa.
3·0910	0·1658	177 4	128 19	6 23	3·6034	2·5786	Hekate.
3·0916	0·1990	251 25	211 8	4 12	3·7069	2·4763	Gordonia.
3·0945	0·1137	335 59	129 49	7 26	3·4464	2·7426	Europa.
3·0966	0·1976	325 37	62 20	5 12	3·7083	2·4849	Vera.
3·0967	0·0952	284 15	157 13	10 30	3·3915	2·8019	Sophia.
3·0982	0·2226	103 16	290 0	3 9	3·7877	2·4087	Pales.
3·0985	0·2213	300 58	87 57	4 47	3·7841	2·4129	Semele.
3·1082	0·1201	102 54	353 14	16 8	3·4814	2·7350	Gudrun. (?)
3·1099	0·0984	331 32	135 5	6 5	3·4158	2·8040	Aemilia.
3·1107	0·2161	234 3	146 8	22 58	3·7830	2·4384	Elektra.
3·1124	0·1701	268 14	315 47	7 26	3·6417	2·5831	A. T. †
3·1136	0·0198	239 25	73 22	7 17	3·1752	2·0520	Philomela.
3·1146	0·0611	251 37	184 42	6 30	3·3050	2·9242	Doris.
3·1147	0·2199	105 38	203 41	13 21	3·7997	2·4297	Meliboea.
3·1148	0·1138	102 8	315 12	4 17	3·4692	2·7604	Medea.
3·1162	0·0605	238 38	342 38	7 0	3·3048	2·9276	Lachesis.
3·1167	0·1193	28 31	35 37	3 40	3·4884	2·7450	Silesia.
3·1180	0·0632	270 7	211 47	21 38	3·3151	2·9209	Adelheid.
3·1186	0·1411	348 35	4 45	15 27	3·5585	2·6787	A. J.
3·1191	0·1605	331 2	90 41	24 50	3·6198	2·6184	1892 U.
3·1201	0·0640	73 47	345 14	6 54	3·3196	2·9206	Josefina.
3·1209	0·2194	310 26	144 59	18 35	3·8057	2·4361	Eucharis.
3·1216	0·1713	315 50	93 10	2 39	3·6562	2·5870	A. U. †*
3·1241	0·1796	17 49	355 26	3 51	3·6851	2·5631	Badenia.
3·1241	0·1756	273 14	125 46	2 12	3·6727	2·5755	Erato.

Planet	Entdecker	Entdeck. Zeit	Mittl. Größe	Durchmesser km	Mttl. tgl. Sid. Bew.	Umlfsz. Jahre	Perihel Durchg.
341. B. U	Charlois . . .	1895 März 15	14·5	34	641·9	5·528	1895·551
342. A. Q	Charlois . . .	1894 Jan. 8	12·6	82	641·3	5·533	1898·050
343. Lucia	Palisa	1882 Febr. 9	12·9	71	641·1	5·534	1894·575
344. Themis . . .	de Gasparis . .	1853 April 5	10·8	187	641·1	5·534	1897·364
345. A. L	Charlois . . .	1893 Sept. 18	11·0	171	640·3	5·541	1898·628
346. Felicia	Charlois . . .	1890 Juli 15	14·3	37	640·0	5·544	1896·161
347. Loreley	Peters	1876 Aug. 10	11·1	163	639·1	5·552	1898·279
348. Protogeneia .	Schulhof . . .	1875 Juli 11	12·5	86	638·9	5·554	1898·907
349. Hygiea	de Gasparis .	1849 April 12	9·5	341	638·5	5·557	1894·477
350. Philosophia .	Paul Henry .	1882 Aug. 12	12·9	75	638·2	5·560	1898·121
351. Aletheia . . .	Peters	1886 Juni 28	12·1	103	637·4	5·567	1897·289
352. Atala	Paul Henry .	1875 Nov. 2	12·2	98	637·1	5·569	1898·645
353. Ophelia . . .	Borelly	1877 Jan. 13	12·1	103	636·6	5·574	1899·676
354. 1893 W . . .	Charlois . . .	1893 März 21	12·3	94	636·5	5·574	1894·910
355. Dido	Peters	1879 Okt. 22	11·6	130	636·3	5·576	1894·544
356. Rosalia . . .	Charlois . . .	1891 Sept. 1	14·0	43	635·8	5·581	1897·226
357. Euphrosyne .	Ferguson . . .	1854 Sept. 2	11·0	179	635·7	5·582	1894·716
358. Mnemosyne .	Luther	1859 Sept. 22	10·7	205	635·2	5·586	1899·496
359. Antiope . . .	Luther	1866 Okt. 1	11·6	130	634·7	5·591	1899·506
360. A. H	Charlois . . .	1893 Aug. 19	10·5	215	634·3	5·594	1894·747
361. Bettina . . .	Palisa	1885 Sept. 3	11·7	124	633·8	5·598	1898·288
362. Clementina .	Perrotin . . .	1885 Okt. 11	13·0	71	633·6	5·600	1896·637
363. 1893 J . . .	Charlois . . .	1893 Febr. 11	12·2	103	632·8	5·607	1896·575
364. Klymene . . .	Watson	1868 Sept. 13	12·2	103	632·0	5·614	1897·432
365. Aurora	Watson	1867 Sept. 6	11·3	156	630·7	5·626	1896·403
366. Caecilia . . .	Charlois . . .	1890 Sept. 9	13·3	62	630·6	5·627	1897·715
367. Byblis	Peters	1879 Juli 9	12·4	94	629·5	5·636	1896·450
368. Goberta . . .	Charlois . . .	1891 Sept. 8	13·3	62	628·9	5·642	1898·464
369. Dione	Watson	1868 Okt. 10	11·3	149	627·2	5·657	1897·055
370. Idunna . . .	Peters	1877 Okt. 14	12·1	108	624·4	5·683	1894·919
371. Undina . . .	Peters	1867 Juli 7	10·9	187	623·5	5·691	1896·189
372. Dejopeja . . .	Palisa	1878 Febr. 28	12·4	94	622·7	5·698	1895·458
373. Bertha	Prosper Henry	1875 Nov. 4	11·2	163	622·6	5·699	1895·385
374. Iclea	Palisa	1889 Aug. 3	13·2	65	621·5	5·709	1895·717
375. Magdalena .	Charlois . . .	1891 Sept. 24	13·2	65	621·0	5·714	1899·017
376. A. S.	Charlois . . .	1894 Jan. 10	12·4	98	620·5	5·718	1896·310
377. Hekuba . . .	Luther	1869 April 2	11·7	136	618·1	5·740	1897·752
378. Geraldina . .	Charlois . . .	1890 Okt. 3	13·9	49	617·4	5·747	1895·978
379. Heideberga .	Wolf	1892 März 4	12·4	98	615·0	5·770	1896·446
380. Gerda	Peters	1872 Juli 31	11·5	149	614·8	5·772	1899·514
381. Andromache .	Watson	1877 Okt. 1	12·3	103	614·6	5·773	1894·581
382. Siri	Wolf	1892 März 19	15·0	26	605·5	5·860	1898·556
383. Sibylla . . .	Watson	1876 Sept. 28	11·6	156	572·3	6·200	1895·530
384. Henrietta . .	Palisa	1882 April 19	12·7	94	567·8	6·249	1896·047
385. Leona	Charlois . . .	1891 Okt. 8	14·2	47	567·1	6·257	1898·388
386. Adelinda . . .	Palisa	1882 Aug. 22	13·5	68	563·6	6·296	1895·282
387. Freia	d'Arrest	1862 Okt. 21	12·0	136	561·7	6·317	1895·057
388. Cybele	Tempel	1861 März 9	11·0	215	557·6	6·363	1899·517
389. Hermione . .	Watson	1872 Mai 12	11·2	196	553·7	6·409	1899·872
390. Huberta . . .	Palisa	1886 Okt. 3	13·9	59	553·5	6·411	1899·264
391. Sylvia	Pogson	1866 Mai 16	11·9	149	546·9	6·488	1893·925
392. Camilla . . .	Pogson	1868 Nov. 17	11·2	205	544·2	6·520	1896·062
393. Chicago . . .	Wolf	1892 Aug. 23	12·0	179	456·4	7·774	1895·628
394. Ismene . . .	Peters	1878 Sept. 22	12·0	187	452·0	7·850	1895·963
395. Hilda	Palisa	1875 Nov. 2	12·6	142	450·9	7·870	1897·134
396. 1893 P . . .	Charlois . . .	1893 März 11	13·3	103	449·9	7·886	1899·903
397. Thule	Palisa	1888 Okt. 25	13·8	98	403·2	8·800	1896·133

Halbachse	Excentricität	Knot. Dist. d. Perihels	Länge des aufst. Knot.	Neigung	Entfernung von ⊙		Planet
					Größte	Kleinste	
3·1264	0·0917	229° 27′	328° 41′	10° 37′	3·4132	2·8396	B. U. †
3·1281	0·1917	177 57	172 45	1 37	3·7277	2·5285	A. Q.
3·1287	0·1467	176 7	80 22	2 11	3·5876	2·6698	Lucia.
3·1288	0·1336	107 59	35 37	0 48	3·5467	2·7109	Themis.
3·1314	0·0937	342 35	337 41	15 54	3·4249	2·8379	A. L.
3·1326	0·2505	180 17	137 2	6 15	3·9173	2·3479	Felicia.
3·1353	0·0685	338 32	303 59	11 11	3·3500	2·9206	Loreley.
3·1362	0·0353	125 19	251 14	1 54	3·2468	3·0256	Protogeneia.
3·1373	0·1190	309 12	285 50	3 49	3·5107	2·7639	Hygiea.
3·1385	0·2093	254 48	331 2	9 15	3·7953	2·4817	Philosophia.
3·1410	0·1169	152 7	88 41	10 44	3·5081	2·7739	Aletheia.
3·1420	0·0744	42 19	41 18	12 13	3·3756	2·9084	Atala.
3·1437	0·1156	50 6	100 51	2 33	3·5070	2·7804	Ophelia.
3·1439	0·0669	314 25	348 4	10 38	3·3541	2·9337	1893 W.
3·1445	0·0654	250 8	2 0	7 14	3·3502	2·9388	Dido.
3·1462	0·1877	185 36	171 22	12 34	3·7366	2·5558	Rosalia. †*
3·1467	0·2242	60 30	31 46	26 28	3·8522	2·4412	Euphrosyne.
3·1483	0·1188	210 25	200 3	15 12	3·5224	2·7742	Mnemosyne.
3·1500	0·1595	230 30	71 31	2 16	3·6525	2·6475	Antiope.
3·1511	0·2750	113 44	328 21	23 39	4·0176	2·2846	A. H.
3·1528	0·1229	64 56	25 39	12 56	3·5402	2·7654	Bettina.
3·1534	0·0835	151 40	203 31	10 1	3·4166	2·8902	Clementina.
3·1560	0·0266	231 52	138 10	14 6	3·2398	3·0722	1893 J. (?)
3·1588	0·1492	19 51	43 7	2 53	3·6300	2·6876	Klymene.
3·1633	0·0826	45 23	4 25	8 4	3·4246	2·9020	Aurora.
3·1635	0·1443	348 0	333 40	7 35	3·6201	2·7069	Caecilia.
3·1671	0·1776	172 0	89 45	15 25	3·7294	2·6048	Byblis.
3·1692	0·1345	307 16	124 38	2 19	3·5956	2·7428	Goberta. †
3·1750	0·1698	322 50	63 15	4 37	3·7141	2·6359	Dione.
3·1844	0·1701	182 25	201 10	22 37	3·7261	2·6427	Idunna.
3·1875	0·0985	222 37	102 57	9 56	3·5016	2·8734	Undina.
3·1903	0·0592	203 1	334 39	1 11	3·3790	3·0016	Dejopeja.
3·1904	0·0805	160 20	37 23	20 55	3·4472	2·9336	Bertha.
3·1942	0·0124	203 5	149 44	17 57	3·2338	3·1546	Jclea.
3·1962	0·0710	275 8	162 48	10 32	3·4231	2·9693	Magdalena.
3·1976	0·1207	146 54	125 20	12 36	3·5835	2·8117	A. S.
3·2060	0·1052	176 34	352 27	4 24	3·5433	2·8687	Hekuba.
3·2083	0·0423	288 45	42 24	0 47	3·3441	3·0725	Geraldina.
3·2169	0·1490	71 56	345 39	8 35	3·6964	2·7374	Heidelberga.
3·2176	0·0488	17 7	178 46	1 36	3·3746	3·0606	Gerda.
3·2182	0·2006	299 55	25 34	3 11	3·8638	2·5726	Andromache.
3·2505	0·3768	194 14	43 46	2 3	4·4751	2·0259	Siri. (?)
3·3749	0·0761	168 2	209 31	4 34	3·6318	3·1180	Sibilla.
3·3927	0·2642	98 19	200 49	20 42	4·2891	2·4963	Henrietta.
3·3956	0·2145	216 12	189 6	10 46	4·1239	2·6673	Leona. †*
3·4097	0·1517	303 21	30 55	2 10	3·9268	2·8926	Adelinda.
3·4172	0·1704	237 32	212 11	2 3	3·9995	2·8349	Freia.
3·4339	0·1012	99 48	158 56	3 29	3·7814	3·0864	Cybele.
3·4502	0·1356	280 10	76 48	7 35	3·9179	2·9825	Hermione.
3·4510	0·1108	161 18	168 55	6 16	3·8334	3·0686	Huberta.
3·4784	0·0955	259 4	75 58	10 55	3·8105	3·1463	Sylvia.
3·4901	0·0688	293 58	176 6	9 52	3·7302	3·2500	Camilla.
3·9244	0·0073	347 34	135 50	4 33	3·9532	3·8956	Chicago.
3·9497	0·1643	288 19	177 6	6 7	4·5986	3·3008	Ismene.
3·9565	0·1637	54 48	228 23	7 52	4·6042	3·3088	Hilda.
3·9620	0·2044	75 12	19 32	12 37	4·7719	3·1521	1893 P. †*
4·2625	0·0823	233 20	75 33	2 23	4·6133	3·9117	Thule.

Verzeichnis der berechneten Kometen.

Im nachstehenden Verzeichnisse berechneter Kometenbahnen wurde der laufenden Nummer ein Asterisk beigefügt, falls die demselben folgenden Bemerkungen noch weitere Notizen über den betreffenden Kometen enthalten.

In der zweiten Kolumne sind die Kometen nicht streng nach der Zeit ihrer Entdeckung, sondern dem astronomischen Gebrauche gemäß, nach der Zeit ihrer Perihelpassage geordnet und numeriert. Hierbei ist auch unter Einem der Versuch gemacht, die Art der Erscheinung des Kometen im allgemeinen zu charakterisieren. Steht nämlich in dieser Kolumne neben der Bezeichnung des Kometen ein Asterisk (*) so heißt dies, daß er mit freiem Auge aufgefunden wurde; bot er überdies zur Zeit seines größten Glanzes eine sehr auffallende Erscheinung dar, oder war er, um in der Sprache der früheren Jahrhunderte zu reden, ein Komet von erschrecklicher Größe, so ist er durch zwei Asteriske (**) ausgezeichnet. Wurde der Komet teleskopisch entdeckt, jedoch im Verlaufe seiner Sichtbarkeit mit freiem Auge erkennbar, so hat er ein Kreuzchen (†) erhalten; entfaltete aber ein teleskopisch aufgefundener Komet nachträglich eine große Pracht, so wurde er mit Kreuz und Asterisk (†*) versehen, blieb endlich ein Komet durch die ganze Zeit seiner Erscheinung teleskopisch, d. h. wurde er nie mit freiem Auge sichtbar, so ist seiner Bezeichnung gar nichts beigefügt. Bei dieser Klassifizierung ist selbstverständlich eine große Unsicherheit vorhanden, und eine gewisse Willkür nicht zu vermeiden. So werden in der Ansicht, ob ein Komet schon zu einer glänzenden Erscheinung zu zählen sei oder nicht, die Meinungen, namentlich bei Beschreibungen aus älterer Zeit, häufig stark von einander abweichen; nicht minder wird es häufig schwer zu entscheiden sein, ob ein Komet mit freiem Auge sichtbar war oder nicht. Es wird bei mehreren Kometen beides mit gleicher Entschiedenheit behauptet, und vielleicht mit Recht, da ein besonders scharfes Auge ihn leicht noch wahrnehmen konnte, besonders dann, wenn man seinen Ort, etwa durch Visieren längs des Fernrohrs, genau kannte, während er im allgemeinen unsichtbar war. Trotz dieser und mancher anderen Unsicherheit, dürften die obigen Angaben im großen und ganzen doch von allgemeineren Interesse sein.

Die Neigung ist nach der neueren Gauß'schen Zählweise von 0° bis 180° angegeben. In früheren Zeiten hingegen zählte man die Neigungen nur bis 90° und bezeichnete bei solchen von mehr als 90° den Nebenwinkel als Neigung, nannte jedoch die Bahnen letzterer Art zum Unterschiede von den ersteren retro-

grade, jene direkte (vgl. S. 509). Nennt man nun nach der älteren Zählweise bei retrograden Kometen Ω', ω', i' Länge des aufsteigenden Knotens, Abstand des Perihels von demselben und Neigung, und bezeichnet man dieselben Größen nach der neuen Zählweise mit Ω, ω und i so vermitteln die folgenden einfachen Relationen den Übergang aus einer Zählweise in die andere:

$$\Omega' = \Omega \qquad \Omega = \Omega'$$
$$\omega' = 360 - \omega \qquad \omega = 360 - \omega'$$
$$i' = 180 - i \qquad i = 180 - i'$$

Die Periheldistanz ist in Teilen der halben großen Erdbahnachse angesetzt. Die Kolumnen Excentricität, Halbe große Achse und Umlaufszeit sind bei jenen Kometen nicht ausgefüllt, bei denen sich parabolische Elemente zur Darstellung der Beobachtungen als ausreichend erwiesen. Excentricitäten, kleiner als die Einheit, zeigen elliptische, größer als die Einheit, hyperbolische Bahnen an. Übrigens sind hyperbolische Bahnen und viele Jahrtausende umfassende Umlaufszeiten blos als Andeutung aufzufassen, daß, wenn man schon Abweichungen von der Parabel annehmen will, sie wahrscheinlicher nach der einen, als nach der anderen Seite liegen dürften.

Als Ergänzung zur Kolumne „Dauer der Sichtbarkeit" ist vom Kometen 1742 an, noch der Tag der Entdeckung beigefügt, weil es für viele Untersuchungen, unter anderen auch für die Beurteilung der Sicherheit der Bahnbestimmung wichtig ist zu wissen, in welchem Teile der Bahn der Komet beobachtet wurde, namentlich ob dies in beiden Zweigen (vor und nach dem Perihel) oder blos in dem einen der Fall war. Bei den älteren Kometen ist die Zeit aus welcher eigentliche Beobachtungen vorliegen in der Regel wesentlich kürzer als die Zeit ihrer Sichtbarkeit: es sind überdies vielfach noch nicht alle Beobachtungen zur Bahnbestimmung verwertet; die Angabe des Tages ihrer Entdeckung schien daher zwecklos. Das eben gesagte gilt übrigens, allerdings in sehr gemildertem Maße, auch noch für eine nicht unbedeutende Zahl der Kometen, bis zum Ende des vorigen Jahrhunderts.

Bei Kometen die sofort als ein dem freien Auge sehr auffälliges Objekt auftraten, kann man von einem Entdecker im Grunde nicht sprechen: es wurde deshalb in diesen Fällen auch kein solcher angegeben. War hingegen der Komet bei seiner Auffindung zwar mit freiem Auge sichtbar, aber so unscheinbar, daß er blos bei aufmerksamerer Betrachtung des Himmels als ein fremder Gast erkennbar war, so ist als Entdecker derjenige genannt, von dem die erste Nachricht über dessen Erscheinen vorliegt, und der Name überdies eingeklammert, wenn über die scheinbare Größe des Gestirns bei seiner Entdeckung nichts Näheres bekannt ist. Übrigens sind eine Reihe von Kometen kurze Zeit nach, und unabhängig von einander von verschiedenen Astronomen und Liebhabern der Astronomie aufgefunden worden: es ist dann außer wenn die Entdeckung an mehreren Orten in derselben Nacht stattfand, nur der der Zeit nach erste Entdecker angeführt.

Die Bahnen aller vor dem Ende des 15. Jahrhunderts erschienenen Kometen, sind mit ganz vereinzelten Ausnahmen, mit so großen Unsicherheiten behaftet, daß dieselben fast gar kein Vertrauen verdienen, wie schon daraus hervorgeht, daß die spärlichen Angaben über deren Lauf nicht selten durch ganz heterogene Elementensysteme dargestellt werden können. (Man vergleiche in dieser Beziehung die Bemerkungen zu Nr. 4, 5, 6, 14 und 15). Manche Bahnen wie die, welche für die Kometen der Jahre 565, 1006, 1299, 1351, 1362 und den von 1746 berechnet wurden, können aber überhaupt nicht den Anspruch erheben, Annäherungen an die wahre Bahn zu sein: dieselben wurden deshalb im Verzeichnisse nicht aufgeführt. An demselben Mangel leiden wohl auch noch viele Bahnen aus späterer, ja sogar einige aus unserer Zeit, z. B. die der Kometen 1402 (Nr. 25), 1668 (Nr. 53), 1780 II (Nr. 100), 1826 III (Nr. 157) u. s. w.; doch ist der Grad der Unsicherheit der ihnen anhaftet ohne eingehendere Untersuchungen nicht festzustellen: sie wurden deshalb beibehalten. Bezüglich der Bahnelemente sei außerdem noch erwähnt, daß von den zum Teil sehr zahlreichen für einzelne Kometen vorliegenden Bahnbestimmungen stets jene ausgewählt wurde, welche unter Berücksichtigung aller hierbei mitwirkenden Faktoren als die sicherste erschien.

Schließlich erübrigt uns noch ein paar Worte über die Anordnung des Verzeichnisses beizufügen. In demselben sind bei den bereits in mehreren Perihelpassagen beobachteten periodischen Kometen die Elemente nur bei der ersten sicheren Erscheinung derselben angeführt, und die späteren Erscheinungen nur am Fuße der betreffenden Seite angemerkt. Zur Ergänzung folgt aber am Schlusse noch eine tabellarische Zusammenstellung dieser Kometen mit eingehenderen Bemerkungen.

Nr.	Durchgang durch d. Perihel		Knot. Dist. d. Perihels	Länge des aufsteig. Knotens	Neigung	Perihel-distanz	Dauer d. Sichtbarkeit in Tagen	Berechner
	Jahr	Mittl. Par. Zeit						
	vor Chr.	Alter Styl						
1*	372**	Winter	120° .	270°-330°	unter 150°	sehr klein	?	Pingré.
2*	137**	April 29	350 .	220° .	160° .	1·010	83 (?)	Peirce.
3*	69*	Juli	150 .	165 .	70 .	0·79	35 (?)	Peirce.
4*	12**	Okt. 8·80	108 .	28 .	170 .	0·58	63 (?)	Hind.
	nach Chr.							
5	66*	Jan. 14·2	67° 40′	32° 40′	139° 30′	0·445	50	Hind.
6	141*	März 29·1	120 55	12 50	163 0	0·720	60 (?)	Hind.
7	240**	Nov. 10·0	82 .	189 .	44 .	0·37	60 (?)	Burckhardt.
8*	539*	Okt. 20·6	255 30	58 .	10 .	0·341	60 (?)	Burckhardt.
9	568*	Aug. 29·33	24 20	294 15	4 8	0·907	69	Laugier.
10	574*	April 7·29	15 22	128 17	46 31	0·963	63 (?)	Hind.
11	770**	Juni 6·65	86 46	88 54	120 29	0·603	59	Hind.
12	837**	März 1·00	277 30	206 33	169 .	0·580	37	Pingré.
13	961*	Dez. 30·17	82 32	350 35	100 27	0·552	64	Hind.
14*	989*	Sept. 12·0	180 .	84 .	163 .	0·568	30	Burckhardt.
15*	1066**	Mai 30	110 .	230 .	110 .	0·34	67	Pingré.
16	1092*	Febr. 15·0	30 40	125 40	28 55	0·928	120	Hind.
17	1097**	Sept. 21·9	125 0	207 30	73 30	0·738	25	Burckhardt.
18	1231*	Jan. 30·31	121 18	13 30	6 5	0·948	105	Pingré.
19*	1264**	Juli 19·80	159 34	140 55	16 29	0·825	120	Hoek.
20*	1301**	Okt. 24·0	186 .	138 .	167 .	0·640	46	Laugier.
21	1337**	Juni 15·08	90 41	93 1	139 32	0·828	63	Laugier.

Nr.	Durchgang durch d. Perihel		Knot. Dist. d. Perihels	Länge des aufsteig. Knotens	Neigung	Perihel-distanz	Dauer d. Sichtbarkeit in Tagen	Berechner
	Jahr	Mittl. Par. Zeit						
22*	1366*	Okt. 21·46	169° 21′	217° 25′	152° 23′	0·980	4	Hind.
23*	1378*	Nov. 8·77	107 46	47 17	162 4	0·584	45 (?)	Laugier.
24	1385*	Okt. 16·27	166 44	268 31	127 45	0·774	12	Hind.
25*	1402**	März 21	91 .	117 .	55 .	0·38	?	Hind.
26	1433**	Nov. 7·777	189 19	96 20	104 0	0·4928	46	Celoria.
27	1449*	Dez. 9·375	356 52	261 18	155 40	0·3274	49	Celoria.
28*	1457 I*	Jan. 17·986	194 54	249 40	13 16	0·7034	4	Celoria.
29	1457 II*	Aug. 8·007	185 8	184 24	9 52	0·7604	90 (?)	Celoria.
30	1468*	Okt. 7·416	65 12	61 15	135 41	0·853	81	Laugier.
31*	1472**	Febr. 29·891	256 53	296 8	165 48	0·479	68 (?)	Celoria.
32*	1491*	Jan. 4·91	155 .	268 .	105 .	0·756	23 (?)	Peirce.
33*	1499*	Sept. 6·19	33 30	326 30	21 0	0·954	?	Hind.
34	1500*	Mai 17	20 .	310 .	105 .	1·40	40 (?)	Hind.
35*	1506*	Sept. 3·67	242 13	132 50	134 59	0·386	25 (?)	Laugier.
36*	1532**	Okt. 18·34	24 25	87 23	32 36	0·519	115	Olbers.
37*	1533*	Juni 14·89	278 21	299 19	28 14	0·327	67	Olbers.
38	1556**	April 22·191	100 53	175 14	32 26	0·4908	53	Hoek.
39*	1558*	Sept. 13·55	119 37	335 3	110 53	0·281	30 (?)	Hoek.
40	1577**	Okt. 26·954	255 38	25 20	104 50	0·1775	87	Woldstedt.
41*	1580*	Nov. 28·500	89 20	19 7	64 34	0·6023	70	Schjellerup.
42	1582*	Mai 6·42 Neuer Styl	331 57	227 14	118 34	0·168	28 (?)	Marth.
43*	1585*	Okt. 8·033	331 24	37 44	6 6	1·0948	45	Peters & Sawitsch.
44	1590*	Febr. 8·034	307 40	165 37	150 30	0·5677	12	Hind.
45	1593*	Juli 18·575	12 4	164 15	87 58	0·089	44	La Caille.
46*	1596*	Juli 25·221	59 26	330 21	128 2	0·5672	26 (?)	Hind.
47	1618 I*	Aug. 17·133	24 55	293 25	21 28	0·513	31	Pingré.
48*	1618 II**	Nov. 8·357	287 21	75 44	37 11	0·3895	60 (?)	Bessel.
49	1652*	Nov. 12·659	300 9	88 10	79 28	0·8475	23	Halley.
50	1661*	Jan. 26·887	33 22	81 54	33 1	0·4427	40	Mechain.
51*	1664**	Dez. 4·490	310 33	81 16	158 42	1·0255	124	Lindelöf.
52	1665**	April 24·225	156 7	228 2	103 55	0·1065	68 (?)	Halley.
53*	1668**	Febr. 24·788	206 43	193 26	27 7	0·251	?	Henderson.
54	1672*	März 1·4532	109 33	298 6	82 57	0·6955	50	Berberich.
55	1677*	Mai 6·0322	99 12	236 49	100 57	0·2806	12	Halley.
56*	1678*	Aug. 27·592	166 6	161 40	3 4	1·2380	26	Douwes.
57*	1680†*	Dez. 18·0000	350 39	272 9	60 39	0·0062	126	Encke.
58	1683*	Juli 13·0971	87 48	173 25	96 47	0·5595	48	Plummer.
59*	1684*	Juni 8·269	330 20	268 10	65 25	0·9583	17	Neugebauer.
60	1686*	Sept. 15·831	81 55	354 4	34 56	0·336	45 (?)	Hind.
61*	1689**	Nov. 30·165	78 11	279 24	63 11	0·0644	30 (?)	Holetschek.
62*	1695**	Nov. 9·71	204	216	22	0·844	21	Burckhardt.
63	1698*	Okt. 17·021	151 11	65 53	169 5	0·7287	26	Hind.
64	1699*	Jan. 13·406	109 33	321 41	109 23	0·749	13	Hind.
65	1701*	Okt. 17·42	165	299	138	0·593	4	Burckhardt.
66*	1702*	März 13·613	309 47	188 59	4 25	0·647	15	Burckhardt.
67	1706*	Jan. 30·2120	59 25	13 11	55 14	0·4269	29	Struyck.
68*	1707*	Dez. 11·9948	27 8	52 50	88 38	0·8590	59	Struyck.
69*	1718*	Jan. 14·9122	6 16	127 55	148 52	1·0254	18	Argelander.
70	1723*	Sept. 27·6344	331 22	14 14	130 0	0·9988	69	Spörer.
71*	1729†	Juni 16·1542	10 26	310 37	77 4	4·0505	178	Hind.
72	1737 I*	Jan. 30·3537	99 33	226 22	18 21	0·2228	59	Bradley.
73*	1737 II*	Juni 2·237	129 52	132 5	61 52	0·835	7 (?)	Hind.
74*	1739*	Juni 17·4229	104 47	207 25	124 17	0·6736	82	La Caille.

Komet Halley (Nr. 23): 1456** Juni 8·2; 1531* Aug. 24·9; 1607* Okt. 26·7224; 1682** Sept. 14·8016.

Nr.	Durchgang durch das Perihel		Knot. Distanz des Perihels	Länge des aufsteigenden Knotens	Neigung	Perihel-distanz	Excentricität
	Jahr	Mittl. Pariser Zeit					
75	1742*	Febr. 8·6252	328° 30·2′	185° 9·5′	112° 28·3′	0·77005	. . .
76*	1743 I*	Jan. 10·8539	25 25·9	67 32·0	2 16·3	0·8382	. . .
77	1743 II*	Sept. 20·6534	119 2·1	6 2·2	134 22·9	0·5230	. . .
78*	1744**	März 1·34628	151 26·9	45 44·9	47 7·3	0·22221	. . .
79	1747†	März 3·3056	230 16·8	147 18·8	100 53·7	2·19860	. . .
80	1748 I*	April 28·7872	17 28·4	232 51·8	94 31·6	0·8404	. . .
81	1748 II*	Juni 18·894	245 39	33 8	67 3	0·625	. . .
82	1757*	Okt. 21·3361	268 45·2	214 12·8	12 50·3	0·3375	. . .
83	1758*	Juni 11·1438	36 48	230 50	68 19	0·2154	. . .
84*	1759 II†	Nov. 27·0083	273 54·6	139 39·7	79 6·6	0·8014	. . .
85*	1759 III*	Dez. 16·8476	301 21·5	79 50·1	175 7·5	0·9658	. . .
86	1762	Mai 28·3410	115 28 9	348 33·1	85 38·2	1·0091	. . .
87*	1763†	Nov. 1·8679	88 34·9	356 24·1	72 31·9	0·49829	0·99868
88	1764*	Febr. 12·5775	104 49·7	120 4·6	127 6·5	0·55522	. . .
89	1766 I	Febr. 17·368	100 55	244 11	139 10	0·5053	. . .
90*	1766 II*	April 26·9953	177 2	74 11	8 1·8	0·39898	0·86400
91	1769†*	Okt. 7·62689	329 7·5	175 4·0	40 45·8	0·12276	0·99925
92	1770 I†	Aug. 13·54735	224 17·9	131 58·9	1 34·5	0·67431	0·78684
93	1770 II	Nov. 22·24167	260 19·4	108 42·2	148 34·1	0·5282	. . .
94	1771†	April 19·14144	76 8·2	27 53·2	11 15·9	0·90183	. . .
95	1772	Febr. 16·66180	213 3·0	257 15·6	17 3·1	0·98602	0·72451
96	1773†	Sept. 5·61330	314 5·5	121 5·5	61 14·3	1·12689	. . .
97	1774	Aug. 14·7472	135 58·2	180 50·2	82 48·6	1·42528	. . .
98	1779	Jan. 4·09284	62 10·3	25 4·2	32 31·0	0·71316	. . .
99	1780 I†	Sept. 30·93280	237 5·3	123 41·3	125 36 8	0·09630	0·99995
100	1780 II	Nov. 28·851	254 9	141 1	107 56	0·515	. . .
101	1781 I	Juli 7·19537	156 10·8	83 0·6	81 43·4	0·77586	. . .
102	1781 II†	Nov. 29·5297	61 19·8	77 22·9	152 47·9	0·96100	. . .
103*	1783	Nov. 19·93685	354 36·9	55 40·5	45 6·9	1·45929	0·55246
104	1784*	Jan. 21 2061	336 5·0	56 49·4	128 50·8	0·70786	. . .
105	1785 I	Jan. 27·33199	205 39·7	264 12·3	70 14·2	1·14340	. . .
106	1785 II†	April 8·42049	127 10·6	64 41 1	92 37·8	0·42724	0·99646
107	1786 I	Jan. 30·88	182 30	334 8	13 36	0·3348	0·84836
108	1786 II	Juli 8·57397	323 15·0	195 23·5	50 58·6	0·39424	. . .
109	1787	Mai 10·83194	99 7·4	106 51·6	131 44·2	0·34891	. . .
110	1788 I†	Nov. 10·31582	57 48·6	156 56·7	167 32·3	1·06301	. . .
111	1788 II	Nov. 20·30903	30 25·5	352 24·4	64 30·4	0·75731	. . .
112	1790 I	Jan. 16·797	114 25	172 50	150 16	0·747	. . .
113	1790 II	Jan. 30·87628	207 5·4	268 36·6	54 6·4	1·04438	0·81933
114	1790 III†	Mai 21·24740	119 27·6	33 11·0	116 7·6	0 79796	. . .
115	1792 I	Jan. 13·57240	154 16·6	190 46·3	140 13·1	1·29302	. . .
116*	1792 II*	Dez. 27·33090	147 22·2	283 14·7	130 52·8	0·96681	. . .
117	1793 I	Nov. 4·848	239 47	108 29	119 39	0·4034	. . .
118*	1793 II	Nov. 20·21912	69 53·8	2 0·2	51 31·2	1·49512	0·97342
119	1796	April 2·83128	184 18·1	17 2·3	115 5 5	1·57816	. . .
120*	1797*	Juli 9·11147	279 48·5	329 15·6	129 19·4	0·52661	. . .
121	1798 I	April 4·51482	342 58·4	122 7·4	43 48·0	0·48503	. . .
122	1798 II	Dez. 31·5474	215 1	249 31	137 37	0·7795	. . .
123	1799 I†	Sept. 7·19743	95 47·8	99 30·0	129 4·2	0·83986	. . .
124	1799 II†	Dez. 25·9029	136 29	326 49	102 58	0·6258	. . .
125*	1801	Aug. 8·5630	219 47	42 29	159 15	0·2564	. . .
126	1802	Sept. 9·89752	21 53·4	318 15·7	57 0·8	1·09411	. . .
127	1804	Febr. 13·59463	331 56·9	176 48·0	56 28·7	1·07117	. . .
128	1806 II	Dez. 28·92943	225 19·9	322 23·3	144 57·5	1·08190	1·00018
129*	1807**	Sept. 18·74537	4 7·5	266 47·2	63 10·5	0·64612	0·99549

Komet Halley (Nr. 23): 1759 I†* März 12·5583.
Komet Encke (Nr. 107): 1795 Dez. 21·44748; 1805† Nov. 21·50638.

Halbe große Achse	Umlaufszeit in Jahren	Tag der Entdeckung	Dauer d. Sichtbarkeit in Tagen	Name des Entdeckers	Name des Berechners	Nr.
. . .	. . .	1742 Febr. 5	90	(Grant.)	Barker.	75
. . .	. . .	1743 Febr. 10	18	Grischow.	Olbers.	76
. . .	. . .	1743 Aug. 18	26	Klinkenberg.	D'Arrest.	77
. . .	. . .	1743 Dez. 9	87	Klinkenberg.	Plummer.	78
. . .	. . .	1746 Aug. 13	114	Cheseaux.	La Caille.	79
. . .	. . .	1748 April 26	66	. . . . .	Le Monnier.	80
. . .	. . .	1748 Mai 19	3	Klinkenberg.	Bessel.	81
. . .	. . .	1757 Sept. 13	35	Bradley (?).	Bradley.	82
. . .	. . .	1758 Mai 26	160	(De la Nux.)	Pingré.	83
. . .	. . .	1760 Jan. 25	52	Messier.	Pingré.	84
. . .	. . .	1760 Jan. 7	32	. . . . .	Hind.	85
. . .	. . .	1762 Mai 17	49	Klinkenberg.	Burckhardt.	86
377·5	7330	1763 Sept. 28	58	Messier.	Burckhardt.	87
. . .	. . .	1764 Jan. 3	39	Messier.	Pingré.	88
. . .	. . .	1766 März 8	8	Messier.	Pingré.	89
2·934	5·025	1766 April 1	43	Helfenzrieder.	Burckhardt.	90
163·5	2090	1769 Aug. 8	117	Messier.	Bessel.	91
3·163	5·625	1770 Juni 14	110	Messier.	Le Verrier.	92
. . .	. . .	1771 Jan. 9	12	. . . . .	Pingré.	93
. . .	. . .	1771 April 1	108	Messier.	Kreutz.	94
3·579	6·771	1772 März 8	26	Montaigne.	Hubbard.	95
. . .	. . .	1773 Okt. 12	184	Messier.	Burckhardt.	96
. . .	. . .	1774 Aug. 11	89	Montaigne.	De Saron.	97
. . .	. . .	1779 Jan. 6	131	Bode.	v. Zach.	98
1783	75300	1780 Okt. 26	38	Messier.	Clüver.	99
. . .	. . .	1780 Okt. 18	8	Montaigne, Olbers.	Olbers.	100
. . .	. . .	1781 Juni 28	17	Méchain.	Méchain.	101
. . .	. . .	1781 Okt. 9	78	Méchain.	Méchain.	102
3·259	5·888	1783 Nov. 19	32	Pigott.	C. H. F. Peters.	103
. . .	. . .	1783 Dez. 15	163	(De la Nux.)	Méchain.	104
. . .	. . .	1785 Jan. 7	32	Messier, Méchain.	Méchain.	105
120·7	1325	1785 März 11	36	Méchain.	Krüger.	106
2·208	3·281	1786 Jan. 17	3	Méchain.	Encke.	107
. . .	. . .	1786 Aug. 1	87	Karoline Herschel.	Reggio.	108
. . .	. . .	1787 April 10	107	Méchain.	De Saron.	109
. . .	. . .	1788 Nov. 25	35	Messier.	Méchain.	110
. . .	. . .	1788 Dez. 21	28	Karoline Herschel.	Méchain.	111
. . .	. . .	1790 Jan. 7	14	Karoline Herschel.	De Saron.	112
5·781	13·898	1790 Jan. 9	23	Méchain.	Tischler.	113
. . .	. . .	1790 April 17	73	Karoline Herschel.	Méchain.	114
. . .	. . .	1791 Dez. 15	44	Karoline Herschel.	Méchain.	115
. . .	. . .	1793 Jan. 8	42	Gregory.	Piazzi.	116
. . .	. . .	1793 Sept. 27	102	Messier.	De Saron.	117
56·25	422	1793 Sept. 24	75	Perry.	D'Arrest.	118
. . .	. . .	1796 März 31	15	Olbers.	Olbers.	119
. . .	. . .	1797 Aug. 14	17	. . . . .	Olbers.	120
. . .	. . .	1798 April 12	42	Messier.	Hind.	121
. . .	. . .	1798 Dez. 6	6	Bouvard.	Burckhardt.	122
. . .	. . .	1799 Aug. 6	81	Méchain.	Tallquist.	123
. . .	. . .	1799 Dez. 26	10	Méchain.	Méchain.	124
. . .	. . .	1801 Juni 30 (?)	23 (?)	(Reissig?)	Doberck.	125
. . .	. . .	1802 Aug. 26	38	Pons.	Olbers.	126
. . .	. . .	1804 März 7	25	Pons.	Gauß.	127
. . .	. . .	1806 Nov. 10	94	Pons.	Hensel.	128
143·2	1713	1807 Sept. 9	200	. . . . .	Bessel.	129

Komet Biela (Nr. 95): 1806 I† Jan. 1·92396.

Nr.	Durchgang durch das Perihel		Knot. Distanz des Perihels	Länge des aufsteigenden Knotens	Neigung	Perihel-distanz	Excentricität
	Jahr	Mittl. Pariser Zeit					
130*	1808 I	Mai 12·959	253° 46′	322° 59′	134° 17′	0 3899	. . .
131	1808 II	Juli 12·174	131 32	24 11	140 41	0·6080	. . .
132	1810	Okt. 6·24442	114 56·2	308 50·5	62 55·7	0·96962	. . .
133	1811 I†*	Sept. 12·26312	65 23·9	140 25·1	106 57·5	1·03542	0·99503
134	1811 II†	Nov. 10·99698	314 25·6	93 1·9	31 17·2	1·58211	0·98271
135	1812 †	Sept. 15·33210	199 19·1	253 0·7	73 57·6	0·77712	0·95558
136	1813 I	März 4·53300	350 52·3	60 48·4	158 46 5	0·69916	. . .
137	1813 II†	Mai 19·51720	205 3·4	42 40·2	98 52·5	1·21529	. . .
138	1815†	April 25·99943	65 33·3	83 28·8	44 29·9	1·21283	0·93115
139	1816	März 1.3521	304 21	323 15	43 5	0·0485	. . .
140	1818 I	Febr. 3.224	180 17	256 1	34 11	0·6959	. . .
141	1818 II	Febr. 25 96539	112 19·2	70 26·2	89 43·8	1·19776	. . .
142*	1818 III	Dez. 4·94118	348 4·8	89 59·9	116 54·5	0·85510	. . .
143*	1819 II**	Juni 27·72197	13 26·2	273 42·0	80 44·6	0·34138	. . .
144	1819 III	Juli 18·90670	161 30·1	113 10·8	10 42·8	0·77364	0·75519
145*	1819 IV	Nov. 20·25203	350 4·8	77 13·9	9 1·3	0·89256	0·68675
146*	1821†	März 21·54305	169 11·5	48 40·9	106 26·9	0·09182	. . .
147	1822 I	Mai 5·61250	344 43·1	177 26·9	126 22·6	0·50441	. . .
148*	1822 III†	Juli 15·8507	237 45	97 45	143 42	0·8472	. . .
149	1822 IV†	Okt. 23·77627	181 4·4	92 44·7	127 20·8	1·14507	0·99630
150*	1823*	Dez. 9·45058	28 28·5	303 3·0	103 48 1	0·22650	. . .
151	1824 I	Juli 11·52532	334 6·3	234 21·1	125 26·6	0·59167	. . .
152	1824 II	Sept. 29·06481	85 15·5	279 15·7	54 37·0	1·05014	1·00173
153	1825 I	Mai 30·57518	107 14·2	20 8·9	123 16·4	0·88940	1·00067
154	1825 II	Aug. 18·71754	177 18·3	192 56·2	89 41·8	0·88347	. . .
155	1825 IV†	Dez. 10·69134	256 56·7	215 43·4	146 27·1	1·24085	0·99543
156	1826 II	April 21·92451	279 22·9	197 36·6	40 0·4	2·00790	. . .
157*	1826 III	April 29·046	4 41	40 29	174 43	0·188	. . .
158	1826 IV	Okt. 8·95873	13 41·9	44 6 5	25 57·3	0 85281	. . .
159*	1826 V†	Nov. 18·41477	279 36·5	235 6·2	90 37·9	0·02689	. . .
160	1827 I	Febr. 4·92808	150 57·6	184 27·8	102 24·4	0·50653	. . .
161	1827 II	Juni 7·84766	20 38·8	318 10·5	136 21·3	0 80815	. . .
162*	1827 III	Sept. 11 69936	258 42·0	149 39 2	125 55.3	0·13784	0·99927
163	1830 I*	April 9·30158	5 49·8	206 21·6	21 16·5	0·92140	. . .
164	1830 II*	Dez. 27·66688	26 53·8	337 53·1	135 14·5	0·12589	. . .
165	1832 II	Sept. 25.58003	204 36·2	72 27 5	136 40·1	1·18301	. . .
166*	1833	Sept. 10·20693	259 47·4	323 9·4	7 19·6	0·45875	. . .
167	1834	April 2·79907	50 9·3	226 33·2	5 59·3	0·51311	. . .
168	1835 I	März 27·21166	210 26·4	58 20 5	170 52·5	2·04015	. . .
169	1840 I†	Jan. 4·47816	72 14·3	119 57·6	53 5·6	0·61843	. . .
170	1840 II	März 13·08212	156 36·0	236 50·2	120 47·0	1·22079	0 99498
171	1840 III	April 2·44431	138 2·9	186 2·2	79 52·3	0·74850	. . .
172	1840 IV	Nov. 13·67060	133 36·0	248 55·8	57 58·1	1·48121	0·97112
173	1842 II	Dez. 15·96329	240 32·3	207 48·7	106 25·9	0·50440	. . .
174*	1843 I**	Febr. 27·41748	82 38·0	1 19·9	144 20·1	0·00553	0·99991
175	1843 II	Mai 6·06242	124 14·8	157 14·9	52 44·8	1·61634	1·00018
176	1843 III	Okt. 17·13671	200 3·9	209 29·4	11 22·5	1·69223	0·55583
177*	1844 I†	Sept. 2·48438	278 41·2	63 49·6	2 54·8	1·18632	0·61737
178	1844 II†	Okt. 17·35041	211 15·1	31 39·1	131 24·0	0·85539	0·99961
179*	1844 III**	Dez. 13·68127	177 42·9	118 19·4	45 38·8	0·25172	1·00035
180	1845 I	Jan. 8·16327	114 35·2	336 44·5	46 50·7	0 90521	. . .
181	1845 II†	April 21·03748	205 26·6	347 6·8	56 23·6	1·25468	. . .
182*	1845 III*	Juni 5·67992	75 46·0	337 48·9	131 18·0	0·40163	0·98987
183	1846 I	Jan. 22·10037	337 57·9	111 8·4	47 26·1	1·48070	5·99240

Komet Encke (Nr. 107): 1819 I Jan. 27·95958; 1822 II† Mai 23·96994; 1825 III Sept. 16·28190; 1829 Jan. 9·74981; 1832 I Mai 3·99229; 1835 II Aug. 26·36831; 1838† Dez. 19·09616; 1842 I April 12·02583; 1845 IV Aug. 9·60750.

Halbe große Achse	Umlaufszeit in Jahren	Tag der Entdeckung	Dauer d. Sichtbarkeit in Tagen	Name des Entdeckers	Name des Berechners	Nr.
. . .	. . .	1808 März 25	8	Pons.	Encke.	130
. . .	. . .	1808 Juni 24	9	Pons.	Bessel.	131
. . .	. . .	1810 Aug. 22	47	Pons.	Thrän.	132
208	3010	1811 März 25	511	Flaugergues.	Herz.	133
91·5	875	1811 Nov. 16	92	Pons.	Nicolai.	134
17·495	73·2	1812 Juli 20	69	Pons.	Schulhof, Bossert.	135
. . .	. . .	1813 Febr. 4	35	Pons.	Nicollet.	136
. . .	. . .	1813 März 28	50	Pons.	Ferrer.	137
17·615	73·933	1815 März 6	172	Olbers.	Giuzel.	138
. . .	. . .	1816 Jan. 22	10	Pons.	Burckhardt.	139
. . .	. . .	1818 Febr. 23	4	Pons.	Hind.	140
. . .	. . .	1817 Dez. 26	126	Pons.	Encke.	141
. . .	. . .	1818 Nov. 29	62	Pons, Bessel.	Rosenberger, Scherk.	142
. . .	. . .	1819 Juli 1	107	(Tralles.)	Hind.	143
3·160	5·618	1819 Juli 12	37	Pons.	Encke.	144
2·849	4·810	1819 Nov. 27	58	Blanplain.	Encke.	145
. . .	. . .	1821 Jan. 21	102	Niccollet, Pons.	Rosenberger.	146
. . .	. . .	1822 Mai 12	41	Gambart.	Nicollet.	147
. . .	. . .	1822 Mai 30	25	Pons.	Hind.	148
309·7	5450	1822 Juli 13	121	Pons.	Encke.	149
. . .	. . .	1823 Dez. 29	92	(Pons.)	Encke.	150
. . .	. . .	1824 Juli 15	27	Rümker.	Doberck.	151
. .	. . .	1824 Juli 23	155	Scheithauer.	Encke.	152
. . .	. . .	1825 Mai 18	58	Gambart, Rümker.	Martin.	153
. . .	. . .	1825 Aug. 9	18	Pons.	Clausen.	154
271·4	4470	1825 Juli 15	358	Pons, Biela.	Hubbard.	155
. . .	. . .	1825 Nov. 7	155	Pons.	Nicolai.	156
. . .	. . .	1826 März 29	8	Flaugergues.	Clüver.	157
. . .	. . .	1826 Aug. 7	127	Pons.	Argelander.	158
. . .	. . .	1826 Okt. 22	75	Pons.	Gambart.	159
. . .	. . .	1826 Dez. 26	31	Pons.	v. Heiligenstein.	160
. . .	. . .	1827 Juni 20	31	Pons, Gambart.	v. Heiligenstein.	161
189·6	2610	1827 Aug. 2	75	Pons.	Clüver.	162
. . .	. . .	1830 März 16	153	(D'Abbadie.)	Schulze.	163
. . .	. . .	1831 Jan. 7	60	(Herapath.)	Wolfers.	164
. . .	. . .	1832 Juli 19	39	Gambart.	Schulze.	165
. . .	. . .	1833 Okt. 1	15	Dunlop.	Hartwig.	166
. . .	. . .	1834 März 7	38	Gambart.	Schulhof.	167
. . .	. . .	1835 April 20	37	Boguslawski.	Rechenberg.	168
. . .	. . .	1839 Dez. 2	69	Galle.	Rechenberg.	169
243	3790	1840 Jan. 25	67	Galle.	Kowalczyk.	170
. . .	. . .	1840 März 6	21	Galle.	Kowalczyk.	171
51·4	368	1840 Okt. 26	113	Bremiker.	Schultz-Steinheil.	172
. . .	. . .	1842 Okt 28	30	Laugier.	Schwarzschild.	173
64 0	512	1843 Febr. 27	51	(Ray.)	Kreutz.	174
. . .	. . .	1843 Mai 3	151	Mauvais.	Götze.	175
3·810	7·436	1843 Nov. 22	140	Faye.	Möller.	176
3·100	5·439	1844 Aug. 22	131	De Vico.	Brunnow.	177
2184	102000	1844 Juli 7	246	Mauvais.	Plantamour.	178
. . .	. . .	1844 Dez. 18	84	. . . . .	Bond.	179
. . .	. . .	1844 Dez. 28	92	D'Arrest.	Doberck.	180
. . .	. . .	1845 Febr. 25	65	De Vico.	Faye.	181
39·66	249·8	1845 Juni 2	29	(Colla.)	D'Arrest.	182
194·9	2721	1846 Jan. 24	97	De Vico.	Jelinek.	183

Komet Biela (Nr. 95): 1826 März 18·45311; 1832 III Nov. 26·12337; 1846 II† Febr. 11.
Komet Halley (Nr. 23): 1835 III†* Nov. 15·94539.

Nr.	Durchgang durch das Perihel		Knot. Distanz des Perihels	Länge des aufsteigenden Knotens	Neigung	Perihel-distanz	Excentricität
	Jahr	Mittl. Pariser Zeit					
184	1846 III	Febr. 25·375	13° 46·6′	102° 41·7′	30° 55·3′	0·65013	0·79307
185	1846 IV	März 5·55237	12 53 5	77 33·3	85 6·5	0·66380	0·96291
186	1846 V	Mai 27·90234	78 44·8	161 18·7	122 23·8	1·37599	. . .
187*	1846 VI	Juni 1·14095	339 37·7	260 23·9	30 40·2	1·52928	0·72860
188*	1846 VII†	Juni 5·48571	99 47·2	261 52·9	150 41·2	0·63370	0·98994
189*	1846 VIII	Okt. 29·78372	93 58·3	4 41·4	49 42·0	0·83067	. . .
190*	1847 I†	März 30·29086	254 20·6	21 41·8	48 38·8	0 04259	0·99991
191	1847 II	Juni 4·69903	32 20·6	173 57·1	100 26·2	2·11521	. . .
192*	1847 III	Aug. 9·34434	91 31·8	338 17·0	96 33·8	1·76606	0·99859
193	1847 IV	Aug. 9·35158	55 26 1	76 43·0	147 21·2	1·48483	. . .
194	1847 V	Sept. 5·54922	129 23·3	309 48·8	19 8·4	0·48786	0·97256
195*	1847 VI†	Nov. 14·40637	276 36·9	190 49·9	108 9·1	0·32903	1·00017
196	1848 I	Sept. 8·05177	260 57·6	211 31·7	95 36·6	0·31995	. . .
197	1849 I†	Jan. 19·35431	208 1·4	215 12 9	85 2 9	0·95973	. . .
198	1849 II	Mai 26 49906	33 10·3	202 32·8	67 9 9	1·15940	1·00071
199	1849 III	Juni 8·21014	236 34·1	30 32·0	66 55 3	0·89439	0·99783
200	1850 I†	Juli 23·53445	180 31·6	92 53·5	68 11·4	1·08145	0·99885
201*	1850 II	Okt. 19·34390	243 13·2	206 0·0	40 4·8	0·56558	. . .
202	1851 II	Juli 8·68045	174 31·0	148 23·3	13 55·2	1·17330	0·65928
203	1851 III	Aug. 26·24113	87 18·3	223 40·6	38 9·0	0·98430	0·99686
204	1851 IV	Sept. 30·80309	294 25·0	44 21·5	73 58 6	0·14194	. . .
205*	1852 II	April 19·59380	37 13·3	317 12·9	131 6·5	0·90541	. . .
206	1852 IV†	Okt. 12·75724	57 3 7	346 10·0	40 55·0	1·24996	0·91903
207	1853 I	Febr. 24·01115	275 50·7	69 34·1	159 44·9	1·09213	. . .
208*	1853 II†	Mai 9·83277	199 13·0	40 57·6	122 10·9	0·90869	0 98930
209*	1853 III†*	Sept. 1·71319	170 25·8	140 31·2	61 31·0	0·30684	1·00026
210	1853 IV†	Okt. 16·61186	277 51·0	220 5 9	119 0·3	0·17268	1·00123
211	1854 I	Jan. 3·94163	170 56·2	227 2·8	113 53·2	2·04465	. . .
212*	1854 II*	März 24·01972	101 38·3	315 27·5	97 28·3	0·27706	. . .
213	1854 III†	Juni 22·00356	74 34·3	347 39·7	108 41·0	0·64811	. . .
214*	1854 IV	Okt. 27·51557	129 55·8	324 28·5	40 54·6	0·79870	0 99332
215	1854 V	Dez. 15·72473	287 1·7	238 7·6	14 9·3	1·35748	0·98637
216	1855 I	Febr. 5·05384	323 6·0	189 43·6	128 35·7	2·19353	0·96518
217	1855 II	Mai 30·15396	22 36·5	260 18·9	156 53·2	0·56676	. . .
218	1855 IV†	Nov. 25·39914	325 31·7	51 33·6	169 48·8	1·23099	. . .
219	1857 I	März 21·37557	121 34·7	313 9·3	87 56·0	0·77249	. . .
220	1857 III	Juli 17·98076	134 3·3	23 41·5	121 1·0	0·36753	. . .
221	1857 IV	Aug. 24·00300	185 57·6	200 49·3	32 46·4	0·74684	0·98037
222	1857 V†	Sept. 30·88641	124 50·2	14 57·8	123 56·7	0·56290	0·99691
223	1857 VI	Nov. 19·07778	95 5·4	139 18·7	142 11·1	1·00900	0·99699
224	1858 III	Mai 2·97368	25 42·3	175 4·1	19 30·0	1·14922	0·67368
225	1858 IV	Juni 5·30209	98 52·1	324 58·1	99 57·3	0·54426	. . .
226*	1858 VI†*	Sept. 29·97097	129 6·7	165 19·2	116 58·2	0·57847	0·99629
227	1858 VII†	Okt. 12·83988	155 34·0	159 46·5	158 42·9	1·42669	0·99568
228	1859	Mai 29·23263	282 0·2	357 20·7	95 28·3	0·20103	. . .
229*	1860 I A	Febr. 16·63141	209 46·1	324 3·7	79 40 0	1·19888	. . .
	1860 I B	Febr 16·67621	209 41·8	324 3·3	79 36·2	1·19818	. . .
230	1860 II	März 5·57201	41 12·6	8 52·5	48 13·1	1·30661	. . .
231	1860 III*	Juni 16·06750	76 51·9	84 40·5	79 19·4	0·29289	. . .
232*	1860 IV	Sept. 22·318	311 57	44 51	32 12	0 683	. . .
233*	1861 I†	Juni 3·39641	213 26·3	29 55·7	79 45·5	0·92070	0·98346
234*	1861 II†*	Juni 11·51323	330 6·1	278 58·9	85 26·3	0·82238	0·98508
235	1861 III	Dez. 7·18092	331 35·1	145 6 0	138 1·1	0·83903	. . .

Komet Encke (Nr. 107): 1848 II Nov. 26·08795; 1852 I März 114·71443; 1855 III Juli 1·04121; 1858 VIII Okt. 18·37209; 1862 I† Febr. 6·25426.

Komet Faye (Nr. 176): 1851 I April 1·94318; 1858 V Sept. 12·87919.

Komet Biela (Nr. 95): 1852 III Sept. 24.

Halbe große Achse	Umlaufszeit in Jahren	Tag der Entdeckung	Dauer d. Sichtbarkeit in Tagen	Name des Entdeckers	Name des Berechners	Nr.
3·142	5·569	1846 Febr. 26	55	Brorsen.	Bruhns.	184
17·90	75·71	1846 Febr. 20	88	De Vico.	v. Hepperger.	185
. . .	. . .	1846 Juli 29	59	De Vico, Hind.	Vogel.	186
5·635	13·38	1846 Juni 26	25	C. H. F. Peters.	Berberich.	187
63·0	500	1846 April 30	47	Brorsen.	Oudemans.	188
. . .	. . .	1846 Sept. 23	32	De Vico.	S. Oppenheim.	189
471	10200	1847 Febr. 6	77	Hind.	Hornstein.	190
. . .	. . .	1847 Mai 7	237	Colla.	Engström.	191
1250	44200	1847 Juli 4	292	Mauvais.	E. Gautier.	192
. . .	. . .	1847 Aug. 30	91	Schweizer.	Schur.	193
17·8	75	1847 Juli 20	54	Brorsen.	D'Arrest.	194
. . .	. . .	1847 Okt. 1	80	Miß Mitchell.	Miß M. Palmer.	195
. . .	. . .	1848 Aug. 7	19	Petersen.	Bidschof.	196
. . .	. . .	1848 Okt. 26	92	Petersen.	Petersen, Sonntag.	197
. . .	. . .	1849 April 15	160	Goujon.	Weyer.	198
412	8375	1849 April 11	137	Schweizer, Bond.	D'Arrest.	199
940	28800	1850 Mai 1	168	Petersen.	Carrington.	200
. . .	. . .	1850 Aug. 29	76	Bond.	Rechenberg.	201
3·444	6·390	1851 Juni 27	101	D'Arrest.	Leveau.	202
313	5550	1851 Aug. 1	60	Brorsen.	Brorsen.	203
. . .	. . .	1851 Okt. 22	30	Brorsen.	Andries.	204
. . .	. . .	1852 Mai 15	28	Chacornac.	v. Asten.	205
15·338	60·66	1852 Juli 24	200	Westphal.	Westphal.	206
. . .	. . .	1853 März 6	39	Secchi.	Hornstein.	207
84·9	782	1853 April 4	68	Schweizer.	G. Rümker.	208
. . .	. . .	1853 Juni 10	213	Klinkerfues.	Krahl.	209
. . .	. . .	1853 Sept. 11	91	Bruhns.	D'Arrest.	210
. . .	. . .	1853 Nov. 25	96	van Arsdale.	Rzepecki.	211
. . .	. . .	1854 März 23	36	(Menciaux.)	H. Oppenheim.	212
. . .	. . .	1854 Juni 4	56	Klinkerfues.	Winnecke, Pape.	213
119·6	1309	1854 Sept. 11	110	Klinkerfues.	Lesser.	214
99·6	994	1855 Jan. 14	98	Winnecke, Dien.	Elkin.	215
63	520	1855 April 11	55	Schweizer.	Tiele.	216
. . .	. . .	1855 Juni 3	27	Donati.	Schulze.	217
. . .	. . .	1855 Nov. 12	52	Bruhns.	Schulze.	218
. . .	. . .	1857 Febr. 22	69	D'Arrest.	Loewy.	219
. . .	. . .	1857 Juni 22	27	Klinkerfues.	König.	220
38 05	234·7	1857 Juli 27	88	C. H. F. Peters.	Möller.	221
182	2463	1857 Aug. 20	44	Klinkerfues.	Linßer.	222
335	6143	1857 Nov. 10	39	Donati, van Arsdale.	Auwers.	223
3·522	6·61	1858 Mai 2	30	Tuttle.	Schulhof.	224
. . .	. . .	1858 Mai 21	55 (?)	Bruhns.	Auwers.	225
156·1	1950	1858 Juni 2	275	Donati.	Hill.	226
330	6000	1858 Sept. 5	66	Tuttle.	Weiß.	227
. . .	. . .	1859 April 2	89	Tempel.	Hertzsprung.	228
. . .	. . .	1860 Febr. 26	16	Liais.	Pechule.	229
. . .	. . .	1860 Febr. 26	12	Liais.	Pechule.	
. . .	. . .	1860 April 17	55	G. Rümker.	Gyldén.	230
. . .	. . .	1860 Juni 18	122	. . . . .	Auwers.	231
. . .	. . .	1860 Okt. 23	2	Tempel.	Kowalczyk.	232
55·7	415	1861 April 4	155	Thatcher.	v. Oppolzer.	233
55·11	409·4	1861 Mai 13	353	Tebbutt.	Kreutz.	234
. . .	. . .	1861 Dez. 28	36	Tuttle.	Nöther.	235

Komet Brorsen (Nr. 184): 1857 II März 29·2522.
Komet D'Arrest (Nr. 202): 1857 VII Nov. 28·19438.
Komet Tuttle (Nr. 113): 1858 I Febr. 23·52586.
Komet Winnecke (Nr. 144): 1858 II Mai 2·04566.

Nr.	Durchgang durch das Perihel		Knot. Distanz des Perihels	Länge des aufsteigenden Knotens	Neigung	Perihel-distanz	Excentricität
	Jahr	Mittl. Pariser Zeit					
236	1862 II†	Juni 22·03609	27° 13·6′	326° 34·1′	172° 5·6′	0·98134	. . .
237*	1862 III†	Aug. 22·91537	152 45·5	137 27·2	113 34·1	0·96264	0·96035
238	1862 IV	Dez. 28·18060	230 34·5	355 46·0	137 31·4	0·80324	. . .
239	1863 I	Febr. 3·49669	74 27·1	116 55·6	85 21·9	0·79476	. . .
240	1863 II†	April 4·91081	4 0·0	251 15 6	112 37·8	1·06809	. . .
241*	1863 III†	April 20·87116	55 36·6	250 10·1	85 30·0	0·62878	0 99908
242	1863 IV†	Nov. 9·48589	357 12·8	97 28·6	78 4·8	0·70659	0·99898
243	1863 V†	Dez. 27·76915	115 41·0	304 43·4	64 28·7	0·77149	. . .
244	1863 VI	Dez. 29·17306	78 5·9	105 1·4	83 19·3	1·31312	1·00065
245	1864 I	Juli 27·81825	346 5·7	174 58·9	135 0 0	0·62610	. . .
246	1864 II†	Aug. 15·58310	151 2·8	95 14·5	178 7·8	0·90929	0·99635
247	1864 III	Okt. 11·41150	232 27·4	31 45·4	109 42·0	0·93120	. . .
248	1864 IV	Dez. 22·45755	118 27·8	203 13·2	48 52·7	0·77073	. . .
249*	1864 V	Dez. 27·72616	178 30·8	340 54·4	162 52 6	1·11464	. . .
250*	1865 I**	Jan. 14·33180	111 44·1	252 56·5	92 29·9	0·02584	. . .
251*	1866 I	Jan. 11·14037	170 58·0	231 26·0	162 41·9	0·97652	0·90542
252	1867 I	Jan. 20·21367	357 31·3	78 27·6	18 12·6	1·57723	0·86535
253*	1867 II	Mai 23·92690	134 59·4	101 10·2	6 24 6	1·56356	0·50971
254	1867 III	Nov. 6·96729	148 37·5	64 59·0	96 34·1	0·33036	. . .
255	1868 II†	Juni 26·48275	126 37·4	52 15·4	131 33 0	0·57858	. . .
256	1869 II	Okt. 9·85614	188 12·4	311 30·2	111 40 4	1·23073	. . .
257	1869 III	Nov. 18·81503	106 12·7	296 46·0	5 23 9	1 06314	0·65809
258	1870 I	Juli 14·08868	198 13·0	141 44·8	121 47·9	1·00869	. . .
259	1870 II	Sept. 2·20321	354 57·0	12 56 4	99 20·8	1·81672	. . .
260	1870 IV	Dez. 19·88258	90 35·8	94 44·7	147 16·4	0·38926	. . .
261	1871 I†	Juni 10·60635	222 31·4	279 18·6	87 35·9	0·65430	0·99781
262*	1871 II	Juli 27·04094	96 20 0	211 54·2	101 59·5	1·08336	. . .
263	1871 IV	Dez. 20·38754	242 53·3	147 6·2	98 19·5	0.69131	0·99643
264	1873 II	Juni 25.21431	185 9 2	120 56·7	12 45·4	1·34412	0·55260
265	1873 IV	Sept. 10·79020	193 47·2	230 35·4	95 58·5	0·79406	0·99647
266	1873 V†	Okt. 1·76950	233 45·1	176 43·2	121 29·0	0·38486	. . .
267*	1873 VII	Dez. 1·22546	195 23·4	250 19·8	30 1·5	0·73448	. . .
268	1874 I	März 9·94113	269 29·9	30 18·0	58 52·8	0·04457	. . .
269	1874 II	März 13·94210	331 44·7	274 6·9	148 24·5	0·88575	. . .
270*	1874 III†*	Juli 8·86482	152 21·9	118 44·5	66 21·2	0·67578	0·99882
271	1874 IV	Juli 17·70598	149 36·2	215 51·1	34 8·3	1·68798	0·96283
272*	1874 V	Aug. 26·85007	92 38·2	251 30·1	41 49·8	0·98265	0·99883
273	1874 VI	Okt. 18·94934	16 17·1	281 57·6	99 12·9	0·50823	. . .
274*	1877 I†	Jan. 19·18514	347 10·2	187 15·0	152 54·6	0·80744	. . .
275*	1877 II†	April 17·66268	63 7·9	316 37·3	121 8·5	0·94998	0·99870
276	1877 III	April 26·81233	116 46·5	346 4·8	77 10·5	1 00905	0·99792
277*	1877 V	Juni 27·07676	103 14·8	184 16·9	115 44·5	1·07045	. . .
278	1877 VI	Sept. 11·22471	143 13·3	250 59·8	102 13·9	1·57590	. . .
279	1878 I	Juli 20·69724	177 34·5	102 15·8	78 10·9	1·39197	. . .
280*	1879 II	April 27·42900	3 44·4	45 45.7	107 2 1	0·89655	. . .
281	1879 IV	Aug. 29·28524	84 15·2	32 25·6	107 45·0	0·99148	. . .
282	1879 V	Okt. 4·63149	115 26·4	87 11·0	77 7 9	0·98961	. . .
283*	1880 I**	Jan. 27·62502	86 18·1	6 10·5	144 39·7	0·00549	. . .
284	1880 II	Juli 1·74612	145 11·9	257 15·1	123 3·7	1·81508	. . .
285	1880 III†	Sept. 6·94156	323 6·5	45 18·9	141 54 1	0·35463	. . .
286*	1880 V	Nov. 9·42137	11 41·4	249 22·5	60 42·2	0·65959	. . .

Komet Encke (Nr. 107): 1865 II Mai 27·93101; 1868 III Sept. 14·62045; 1871 V† Dez. 28·81359; 1875 II April 12·99118; 1878 II Juli 26·17398; 1881 VII Nov. 15·30270.

Komet Faye (Nr. 176): 1866 II Febr. 13·97996; 1873 III Juli 18·49315; 1881 I Jan. 22·67174.

Komet Brorsen (Nr. 184): 1868 I April 17·42886; 1873 VI Okt. 10·48509; 1879 I März 30·54133.

Komet Winnecke (Nr. 144): 1869 I Juni 29·94976; 1875 I Mai 12·10695.

Halbe große Achse	Umlaufszeit in Jahren	Tag der Entdeckung	Dauer d. Sichtbarkeit in Tagen	Name des Entdeckers	Name des Berechners	Nr.
. . .	. . .	1862 Juli 2	28	Schmidt, Tempel.	Cerulli.	236
24·28	119·6	1862 Juli 15	104	(Swift), Tuttle.	Hayn.	237
. . .	. . .	1862 Nov. 27	85	Respighi.	Krahl.	238
. . .	. . .	1862 Nov. 30	104	Bruhns.	Engelmann.	239
. . .	. . .	1863 April 11	218	Klinkerfues.	Frischauf.	240
680	17700	1863 April 12	50	Respighi.	Ericson.	241
696	18400	1863 Nov. 4	97	Tempel.	Svedstrup.	242
. . .	. . .	1863 Dez. 28	64	Respighi.	Valentiner.	243
. . .	. . .	1863 Okt. 9	187	Bäcker.	Rosén.	244
. . .	. . .	1864 Sept. 9	31	Donati.	Kowalczyk.	245
249	3930	1864 Juli 4	92	Tempel.	Kowalczyk.	246
. . .	. . .	1864 Juli 23	216	Donati, Toussaint.	v. Asten.	247
. . .	. . .	1864 Dez. 15	72	Bäcker.	Kowalczyk.	248
. . .	. . .	1864 Dez. 30	30	Bruhns.	Valentiner.	249
. . .	. . .	1865 Jan. 17	105	(Abott.)	Körber.	250
10·325	33·18	1865 Dez. 19	52	Tempel.	v. Oppolzer.	251
11·72	40·1	1867 Jan. 22	72	Stephan.	L. Becker.	252
3·189	5·695	1867 April 3	140	Tempel.	R. Gautier.	253
. . .	. . .	1867 Sept. 16	35	Bäcker, Winnecke.	Broch.	254
. . .	. . .	1868 Juni 13	34	Winnecke.	Karlinski.	255
. . .	. . .	1869 Okt. 11	32	Tempel.	Doberck.	256
3·110	5·483	1869 Nov. 27	34	Tempel.	Bossert.	257
. . .	. . .	1870 Mai 29	41	Tempel, Winnecke.	Seydler.	258
. . .	. . .	1870 Aug. 28	117	Coggia.	Gerst.	259
. . .	. . .	1870 Nov. 23	7	Winnecke.	Schulhof.	260
300	5200	1871 April 7	120	Winnecke.	Holetschek.	261
. . .	. . .	1871 Juni 14	98	Tempel.	Cramer.	262
193·5	2690	1871 Nov. 3	109	Tempel.	Lindhagen.	263
3·004	5·207	1873 Juli 3	109	Tempel.	Schulhof.	264
225	3380	1873 Aug. 30	31	Borelly.	R. Gautier.	265
. . .	. . .	1873 Aug. 23	116	Paul, Henry.	Weiß.	266
. . .	. . .	1873 Nov. 10	6	Coggia.	Weiß.	267
. . .	. . .	1874 Febr. 20	5	Winnecke.	Wittstein.	268
. . .	. . .	1874 April 11	67	Winnecke.	Wenzel.	269
573	13700	1874 April 17	184	Coggia.	v. Hepperger.	270
45·4	306	1874 Aug. 19	87	Coggia.	Holetschek.	271
840	24400	1874 Juli 25	87	Borelly.	Gruß.	272
. . .	. . .	1874 Dez. 6	32	Borelly.	Holetschek.	273
. . .	. . .	1877 Febr. 8	54	Borelly.	Thrän.	274
731	19800	1877 April 5	99	Winnecke.	Plath.	275
486	10718	1877 April 11	54	Swift, Block.	Pönisch.	276
. . .	. . .	1877 Okt. 2	24	Tempel.	Gruß.	277
. . .	. . .	1877 Sept. 13	88	Coggia.	Larssén.	278
. . .	. . .	1878 Juli 7	16	Swift.	Büttner.	279
. . .	. . .	1879 Juni 16	68	Swift.	Kremser.	280
. . .	. . .	1879 Aug. 24	25	Hartwig.	Millosevich.	281
. . .	. . .	1879 Aug. 21	62	A. Palisa.	Laves.	282
. . .	. . .	1880 Febr. 4	15	. . . . .	Kreutz.	283
. . .	. . .	1880 April 6	188	Schäberle.	J. Mayer.	284
. . .	. . .	1880 Sept. 29	62	Hartwig.	Molien.	285
. . .	. . .	1880 Dez. 16	105	Pechule.	Bigourdan.	286

Komet D'Arrest (Nr. 202): 1870 III Sept. 22·68595; 1877 IV Mai 10·48640.
Komet Tuttle (Nr. 113): 1871 III Dez. 1·80221.
Komet $Tempel_1$ (Nr. 253): 1873 I Mai 9·80024; 1879 III Mai 7·12421.
Komet $Tempel_2$ (Nr. 264): 1878 III Sept. 7·26730.
Komet $Tempel_3$-Swift (Nr. 257): 1880 IV Nov. 8·00260.

Nr.	Durchgang durch das Perihel		Knot. Distanz des Perihels	Länge des aufsteigenden Knotens	Neigung	Perihel-distanz	Excentricität
	Jahr	Mittl. Pariser Zeit					
287	1881 II	Mai 20·44307	173° 47·6′	126° 24·2′	77° 58·3′	0·59111	. . .
288	1881 III**	Juni 16·44847	354 15·3	270 57·7	63 25·9	0·73449	0·99643
289	1881 IV†	Aug. 22·31248	122 7·3	97 2·6	140 13 9	0·63354	. . .
290	1881 V	Sept. 13·3192	312 30·9	65 56·9	6 51·1	0·72527	0·82838
291	1881 VI	Sept. 14·37183	6 18·2	274 9·9	112 48·8	0·44920	. . .
292	1881 VIII	Nov. 19·77791	118 0·6	181 25·3	144 50·3	1·92290	0·97333
293*	1882 I†	Juni 10·53612	208 59·6	204 56·5	73 48·7	0·06076	. . .
294*	1882 II†**	Sept. 17·23053	69 35·4	346 0·7	141 59·8	0·00775	0·99991
295	1882 III	Nov 12·99363	254 18·8	249 7·2	96 9·0	0·95549	0·99923
296	1883 I	Febr. 18·95873	110 56·5	278 6·0	78 5·6	0·76018	. . .
297*	1883 II*	Dez. 25·3092	138 39·0	264 25·2	114 59·1	0·3097	. . .
298	1884 II	Aug. 16·48583	301 2·0	5 9·0	5 27·6	1·27976	0·58421
299	1884 III	Nov. 17·79370	172 42·5	206 18·5	25 15·7	1·57198	0·56092
300*	1885 II	Aug. 5·54394	178 27·0	92 17·2	80 39·4	2·50778	1·00285
301	1885 III	Aug. 10·44430	43 25·9	204 29·1	59 20·3	0·75477	. . .
302	1885 V	Nov. 25·51151	35 36·8	262 12·2	42 26·6	1·07955	. . .
303*	1886 I†	April 5·9585	126 34·8	36 22·2	82 37·1	0·64236	1·00048
304*	1886 II†	Mai 3·29332	119 36·5	68 19·2	84 26·1	0·47927	1·00023
305	1886 III	Mai 4·45145	38 33·6	287 45·6	100 12·1	0·84196	. . .
306*	1886 IV	Juni 6·69108	176 47·9	53 29·0	12 43·4	1·32772	0·57874
307	1886 V	Juni 7·39549	201 13·4	192 42·1	87 44·4	0·27040	. . .
308	1886 VII	Nov. 22 39464	315 5·6	52 28·9	3 1·7	0·99755	0·71787
309	1886 VIII	Nov. 28·38161	31 53·3	258 12·0	85 35·3	1·48006	. . .
310*	1886 IX†	Dez. 16 50319	86 20·3	137 22·6	101 37·6	0·66332	1·00038
311*	1887 I**	Jan. 11·34421	65 22	339 38	137 37	0 00548	. . .
312	1887 II	März 17 37426	159 25 3	279 55·9	104 16·3	1·63005	0·98461
313	1887 III	März 28·44239	36 32·4	135 27·2	139 47·3	1 00646	. . .
314	1887 IV	Juni 16·66988	15 8·1	245 13·4	17 33·2	1·39382	0·99609
315	1888 I*	März 17·00832	359 55·5	245 22·9	42 15·2	0·69878	0·99585
316	1888 III	Juli 31·10166	59 8·7	101 30·2	74 12·4	0·90168	0·99788
317	1888 V	Sept. 12·7776	290 47·0	137 31·8	56 20·9	1·52755	0·99111
318*	1889 I†	Jan. 31·17837	340 27·7	327 25·2	166 22·2	1·81490	1·00109
319	1889 II	Juni 10·77598	236 4·8	310 42·2	163 50·4	2·25532	. . .
320	1889 III	Juni 20·75088	60 8·1	270 58·1	31 12·8	1·10240	0·95666
321	1889 IV*	Juli 19·28009	345 52·0	286 9·8	65 58·7	1·03966	0·99650
322*	1889 V	Sept. 30·33971	343 35·9	17 59·1	6 4·1	1·94984	0·47078
323	1889 VI	Nov. 29·54151	69 39·0	330 36·0	10 14·9	1·35368	0·67585
324	1890 I	Jan. 26·48660	199 54·6	8 23·4	56 44·0	0·26974	. . .
325*	1890 II	Juni 1·53952	68 56·1	320 20·7	120 33·4	1·09759	1·00041
326	1890 III	Juli 8·54656	85 39·6	14 18·4	63 20·1	0·76413	. . .
327	1890 IV	Aug. 7·1621	331 21·8	85 22·7	154 19·0	2·04813	. . .
328	1890 VI	Sept. 24·51453	163 2·3	100 7·2	98 56·5	1·26023	0·99915
329*	1890 VII	Okt. 26·57051	13 20·1	45 5 9	12 50·7	1·81792	0·47144
330	1891 I	April 27·52749	178 45·4	193 56·1	120 31·5	0·39790	. . .
331	1891 IV	Nov. 12·9120	268 33 0	217 39·0	77 42·6	0·97687	. . .
332	1892 I†	April 6·67194	24 32·0	240 55·5	38 42·8	1 02699	. . .
333	1892 II	Mai 11·18970	129 18·6	253 25·7	89 42·1	1·97069	. . .
334*	1892 III†	Juni 13·34783	14 16·8	331 39·2	20 47·2	2·14057	0·40937
335*	1892 V	Dez. 10·68260	170 0·5	206 31·0	31 16·3	1·43208	0·58972
336	1892 VI	Dez. 28·1044	252 42·6	264 29·5	24 47·8	0·97571	. . .
337*	1893 I	Jan. 6·50236	85 13·3	185 38·5	143 51·8	1·19511	. . .
338*	1893 II†	Juli 7·27795	47 7·8	337 21·0	159 58·0	0·67455	0·99946

Komet Pons-Brooks (Nr. 135): 1884 I Jan. 25·72388.
Komet Encke (Nr. 107): 1885 I März 7·64113; 1888 II Juni 27·99670; 1891 III Okt. 17·98599.
Komet Tuttle (Nr. 113): 1885 IV Sept. 11·14915.
Komet Winnecke (Nr. 144): 1886 VI Sept. 4·39181; 1892 IV Juni 30·89430.
Komet Olbers (Nr. 138): 1887 V Okt. 8·48531.

Halbe große Achse	Umlaufszeit in Jahren	Tag der Entdeckung	Dauer d. Sichtbarkeit in Tagen	Name des Entdeckers	Name des Berechners	Nr.
. . .	. . .	1881 April 30	12	Swift.	Gruß.	287
206	2954	1881 Mai 22	268	Tebbutt.	Bossert.	288
. . .	. . .	1881 Juli 14	99	Schäberle.	Stechert.	289
4·226	8·687	1881 Okt. 4	51	Denning.	Matthiessen.	290
. . .	. .	1881 Sept. 17	40	Barnard.	Millosevich.	291
72·1	612	1881 Nov. 16	57	Swift.	Olsson.	292
. . .	. . .	1882 März 17	152	Wells.	v. Rebeur Paschwitz.	293
84·2	772	1882 Sept. 1	273	. . . . .	Kreutz.	294
1239	43600	1882 Sept. 13	86	Barnard.	Wolyncewicz.	295
. . .	. . .	1883 Febr. 23	60	Brooks, Swift.	Bryant.	296
. . .	. . .	1884 Jan. 7	43	Roß.	H. Oppenheim.	297
3·078	5·400	1884 Juli 16	127	Barnard.	Berberich.	298
3·580	6·774	1884 Sept. 17	201	Wolf.	Thrän.	299
. . .	. . .	1885 Juli 7	48	Barnard.	Berberich.	300
. . .	. . .	1885 Aug. 31	36	Brooks.	Gallenmüller.	301
. . .	. . .	1885 Dez. 26	65	Brooks.	Cohn.	302
. . .	. . .	1885 Dez. 1	241	Fabry.	Morrison.	303
. . .	. . .	1885 Dez. 3	235	Barnard.	Thrän.	304
. . .	. . .	1886 April 30	35	Brooks.	Celoria.	305
3·152	5·595	1886 Mai 22	42	Brooks.	S. Oppenheim.	306
. . .	. . .	1886 April 27	94	Brooks.	Krüger.	307
3·536	6·648	1886 Sept. 26	190	Finlay.	Schulhof.	308
. . .	. . .	1887 Jan. 23	119	Barnard.	Egbert.	309
. . .	. . .	1886 Okt. 4	255	Barnard.	Buschbaum.	310
. . .	. . .	1887 Jan. 18	11	. . . . .	H. Oppenheim.	311
106	1090	1887 Jan. 22	91	Brooks.	Stechert.	312
. . .	. . .	1887 Febr. 16	53	Barnard.	Heinricius.	313
356	6725	1887 Mai 12	91	Barnard.	Muller.	314
168·2	2182	1888 Febr. 18	202	Sawerthal.	Tennant.	315
425	8760	1888 Aug. 7	84	Brooks.	Tennant.	316
172	2250	1888 Okt. 30	204	Barnard.	Searle.	317
. . .	. . .	1888 Sept. 2	735	Barnard.	Berberich.	318
. . .	. . .	1889 März 31	511	Barnard.	Millosevich.	319
25·43	128·3	1889 Juli 23	44	Barnard.	Berberich.	320
297	5127	1889 Juli 19	125	Davidson.	Berberich.	321
3·684	7·072	1889 Juli 6	556	Brooks.	Bauschinger.	322
4·175	8·53	1889 Nov. 15	66	Swift.	Hind.	323
. . .	. . .	1889 Dez 12	35	Borelly.	Krüger.	324
. . .	. . .	1890 März 19	687	Brooks.	Strömgren.	325
. . .	. . .	1890 Juli 18	26	Coggia.	Ebert.	326
. . .	. . .	1890 Nov. 15	59	Zona.	Ristenpart.	327
1490	57500	1890 Juli 23	107	Denning.	Grfn. Bobrinsky.	328
3·439	6·378	1890 Nov. 16	80	Spitaler.	Spitaler.	329
. . .	. . .	1891 März 29	132	Barnard.	Lamp.	330
. . .	. . .	1891 Okt. 2	65	Barnard.	Fröbe.	331
. . .	. . .	1892 März 6	348	Swift.	Miß Wentworth.	332
. . .	. . .	1892 März 18	308	Denning.	Schorr.	333
3·624	6·899	1892 Nov. 3	154	(Post), Holmes.	Kohlschütter.	334
3·490	6·521	1892 Okt. 12	57	Barnard.	Coniel.	335
. . .	. . .	1892 Aug. 28	288	Brooks.	H. Oppenheim.	336
. . .	. . .	1892 Nov. 19	220	Brooks.	Porter, Isham.	337
1254	44400	1893 Juni 19	185	(Sperra.)	Kromm.	338

Komet Faye (Nr. 176): 1888 IV Aug. 19·94.
Komet D'Arrest (Nr. 202): 1890 V Sept. 17·49316.
Komet Wolf (Nr. 299): 1891 II Sept. 3·43865.
Komet Tempel$_3$-Swift (Nr. 257): 1891 V Nov. 14·95835; 1894 III April 23·24699.
Komet Finlay (Nr. 308): 1893 III Juli 12·18195.

Bemerkungen zum vorstehenden Verzeichnisse.

Nr.

1. 372 v. Chr. Das Jahr der Erscheinung des Kometen, welcher sich nach Ephorus in zwei Teile geteilt haben soll, ist nicht ganz festgestellt. Über seine Identität mit dem großen Märzkometen von 1843 (Nr. 174) s. S. 568.

2, 3. 137 und 69 v. Chr. Sehr unsichere, aus mangelhaften chinesischen Beobachtungen berechnete Bahnen, die sich auf das Äquinoktium 1850·0 beziehen.

4. 12 v. Chr. Eine von der hier gegebenen sehr abweichende Bahn von Peirce stellt nach Hind die vorhandenen Beobachtungen nicht entsprechend dar. Der letztere hält den Kometen für die erste nachweisbare Erscheinung des Halley'schen (Nr. 23) und auch die beiden folgenden Kometen (Nr. 5 und 6) für identisch mit demselben. Näheres darüber weiter unten S. 1073.

8. 539 n. Chr. Die Bahn ist aus chinesischen Beobachtungen abgeleitet, welche keine Breiten angeben: die Länge des aufsteigenden Knotens kann daher ebensogut um 180° vermehrt werden, wo dann die Knotendistanz des Perihels 75° 3′ lauten muß.

14. 989 n. Chr. Nach Hind abermals eine Erscheinung des Halley'schen Kometen. Siehe S. 1073.

15. 1066. Für diesen Kometen, den Hind wieder für eine Rückkehr des Halley'schen zum Perihel hält, hat er unter Anlehnung an dessen Elemente eine sehr abweichende Bahn berechnet, die S. 1073 angeführt wird.

19. 1264. Ein sehr heller Komet, dessen früher vermutete Identität mit dem Kometen von 1556 (Nr. 38) durch die Untersuchungen von Hoek sehr unwahrscheinlich geworden ist.

20. 1301. Laugier's Bahn ist aus dem Komplex der europäischen und chinesischen Beobachtungen berechnet, von denen Hind die ersteren für ganz unverläßlich hält, während sich die letzteren nach ihm auch durch die Elemente des Halley'schen Kometen unter der Annahme des Periheldurchganges Okt. 22·7 darstellen lassen.

22. 1366. Die Elemente sind denen des Kometen 1866 I (Nr. 251), der im Zusammenhange mit dem Leonidenschwarm der Meteore (S. 619, 627) steht, sehr ähnlich, wie denn auch in der That die Elemente jenes Kometen die Beobachtungen des Jahres 1366 sehr gut darstellen. Auch ein 868 erscheinender Komet dürfte mit diesem identisch sein.

23. 1378. Erste vollkommen gewisse Erscheinung des Halley'schen Kometen. Die Bahn ist aus chinesischen Beobachtungen ermittelt.

25. 1402. Die angegebene Bahn dieses großen auch bei Tage in der Nähe der Sonne gesehenen Kometen ist eine bloße Schätzung, sie stellt wohl den Lauf desselben, soweit man aus dem vorhandenen sehr unsicheren Material schließen kann, ziemlich gut dar, läßt aber seine große Helligkeit unerklärt.

28. 1457 I. Nur durch 4 Tage von P. Toscanelli beobachtet: Bahn daher sehr unsicher. Wegen ihrer geringen Neigung wurde sie von Schulhof mit verschiedenen neueren, nur kurze Zeit beobachteten Kometen wie 1818 I (Nr. 140), 1873 VII (Nr. 267) u. s. w. in Beziehung gebracht.

31. 1472. Die Bahn blos aus Toscanelli's, aber seines hohen Alters wegen (75 Jahre) etwas mangelhaften Beobachtungen berechnet; sie ließe sich durch Heranziehen der chinesischen Beobachtungen wohl noch erheblich verbessern. Der Komet näherte sich der Erde am 22. Januar 1872 nach den Elementen von Celoria bis auf 0·065, nach früheren von Laugier aber sogar bis auf 0·033 Erdbahnhalbachsen und durchlief dabei während eines Tages einen Bogen von mehr als 40° am Himmel.

32. 1491. Bahn sehr unsicher, weil die europäischen und chinesischen Beobachtungen dieses Kometen sich zum Teile widersprechen.

33. 1499. Der Komet näherte sich am 15. August der Erde bis auf 0·04 Erdbahnhalbachsen.

35. 1506. Nach Winnecke lassen sich die Beobachtungen auch durch die Bahn des Kometen 1880 III (Nr. 285) wiedergeben.

36. 1532. Nach den Untersuchungen von Olbers ist dieser Komet trotz der sehr großen Ähnlichkeit der Elemente mit dem von 1661 (Nr. 50) nicht identisch.

Nr.

37. 1533. Die Bahn aus Apians blos 8 Tage (Juli 18 bis 25) auseinander liegenden Beobachtungen geschlossen. Die einen weit längeren Zeitraum umfassenden chinesischen Beobachtungen scheinen nach Hind der anderen für diesen Kometen von Douwes gegebenen ganz abweichenden Bahn mit einer Neigung von 141° und Periheldistanz: 0·203 zu widersprechen.

39. 1558. Die Elemente sind basiert auf von Hoek wieder aufgefundene Beobachtungen von Fabritius, welche mit den Positionen des Landgrafen von Hessen, deren sich Olbers bei seiner Bahnrechnung bediente, nicht verträglich sind.

41. 1580. Schjellerup's wahrscheinlichste Bahn ist eigentlich eine Ellipse mit einer Umlaufszeit von 9200 Jahren.

43. 1585. Die von Laugier und Mauvais vermutete Identität dieses Kometen mit dem von 1844 I (Nr. 177) wurde von Le Verrier und Brünnow als unhaltbar nachgewiesen. Die Parabel genügt auch, das vorhandene Beobachtungsmaterial darzustellen.

46. 1596. Zur Entscheidung der Frage über die Identität dieses Kometen mit 1845 III (Nr. 182) ist eine Neureduktion der Beobachtungen der dermaligen Zeit mit unseren jetzigen Hilfsmitteln erforderlich.

48. 1618 II. Außer den beiden für dieses Jahr angeführten Kometen war noch ein dritter sichtbar, dessen Bahn aber wegen zu mangelhaftem Beobachtungsmaterial noch nicht berechnet wurde. Manche Geschichtsschreiber sprechen auch noch von mehr, selbst bis zu sechs Kometen in diesem Jahre.

51. 1664. Lindelöf's wahrscheinlichste Bahn eigentlich eine Hyperbel mit $\varepsilon = 1{\cdot}00115$; doch stellt die Parabel die Beobachtungen Hevel's ebenso gut dar. Die früher vermutete Identität mit dem Kometen 1853 I (Nr. 207) unwahrscheinlich. Er soll am 17. November zuerst in Spanien gesehen worden sein und konnte, obwohl er dem freien Auge schon im Anfange Februar verschwand, noch bis 20. März beobachtet werden, da man in jenen Jahren schon anfing, Fernrohre bei der Beobachtung anzuwenden. Zu Anfang seiner Erscheinung stand er fast in Opposition mit der Sonne und überdies die Erde nahezu in der Ebene seiner Bahn, deshalb ward von seinem Schweife wenig wahrgenommen; später aber nahm die scheinbare und auch die wahre Länge desselben bedeutend zu. Hevel beschreibt ihn am 28. Dezember als sehr breit, wie eine Pfauenfeder, und nur etwa doppelt so lang als breit; eine Folge seiner Stellung gegen Erde und Sonne.

53. 1668. Ein sehr großer Komet, der in der äußeren Erscheinung dem großen Märzkometen von 1843 (Nr. 174) sehr ähnelte. Gegeben ist hier die Bahn, die Henderson vor dem Erscheinen des ebengenannten Kometen dafür abgeleitet hatte, wo sich zeigte, daß auch die Elemente dieses Kometen die vorhandenen Beobachtungen genügend darstellen (vgl. S. 559 ff.); die Bahn ist daher sehr unsicher.

56. 1678. Nur aus Beobachtungen von Lahire bekannt, die kaum mehr als Schätzungen sind. Le Verrier und Brünnow halten die Identität dieses Kometen mit dem von 1844 I (Nr. 177) für sicher, da sich die Beobachtungen von 1678 durch die Elemente des vorgenannten Kometen darstellen lassen, wenn man an sie die Jupiterstörungen während der Zwischenzeit anbringt (vgl. S. 548).

57. 1680. Encke hat die Bahn dieses, seiner Größe wegen berühmten Kometen aus den vorhandenen Beobachtungen mit aller Sorgfalt berechnet und gefunden, daß die Umlaufszeit mehrere Jahrtausende übersteigen müsse (seine wahrscheinlichste Bahn giebt dafür 8800 Jahre) und daher Halley's Vermutung, er habe eine Umlaufszeit von nur 575 Jahren, unstatthaft sei. Sein ungeheurer Schweif von 80° scheinbarer Länge war schmal, lang gestreckt und gerade; die wahre Länge betrug mehr als 75 Mill. Kilometer. Dieser Komet brachte den Pastor Dörfel in Plauen zuerst auf eine richtige Vorstellung von der Gestalt der Kometenbahnen, indem er sie für Parabeln erklärte, in deren einem Brennpunkte die Sonne sich befindet. Der Komet zeigte ähnliche Lichterscheinungen wie der Halley'sche im Jahre 1835. Über die Kontraste in den Bewegungsverhältnissen, der Erleuchtung und Erwärmung durch die Sonne, u. s. w. im Perihel und Aphel vgl. S. 563.

59. 1684. Näherte sich Juni 26 der Erde bis auf 0·17; die Kometenbahn selbst nähert sich aber der Erdbahn im aufsteigenden Knoten auf 0·01.

61. 1689. Dieser Komet wurde ebenfalls vielfach mit dem großen Märzkometen von 1843 (Nr. 174) identifiziert: nach neueren Untersuchungen scheinen sich aber die allerdings ziemlich rohen Beobachtungen mit den Elementen des letztgenannten Kometen nicht genügend darstellen zu lassen.

Nr.

62. 1695. Auch dieser Komet wurde vielfach mit dem großen Märzkometen von 1643 in Verbindung gebracht, indem Boguslawski nachwies, daß dessen Elemente unter der Annahme des Periheldurchganges Okt. 24 die Beobachtungen in befriedigender Weise darstellen (vgl. S. 560), was seiner Ansicht nach die hier gegebenen Elemente nicht leisten. Die Bahn ist daher jedenfalls sehr unsicher.

66. 1702. Näherte sich der Erde am 19. April bis auf 0·0438.

68. 1707. Scheint zuerst von Manfredi am 25. November und fast gleichzeitig von Stancanari aufgefunden worden zu sein. Die Bahn der des Kometen 1846 IV (Nr. 185) ähnlich.

69. 1718. Wurde wahrscheinlich von Chr. Kirch entdeckt.

71. 1729. Unter allen uns bekannten Kometen hat dieser bei weitem die größte Periheldistanz, indem die nächst größte, die des Kometen 1885 II (Nr. 300), nur 2·51 beträgt. Er wurde von P. Sarabat zu Nismes am 31. Juli 1729 entdeckt, als seine Entfernung von der Erde 3·23 Erdbahnhalbmesser betrug: bei den letzten Beobachtungen von Cassini, Mitte Januar 1730 war sie auf 4·44 von der Sonne, und 5·13 von der Erde gestiegen. Abgesehen vom großen Kometen von 1811 konnte bis zum Jahre 1890 kein anderer Komet auch nur annähernd bis in jene Fernen verfolgt werden.

73. 1737 II. Die Bahn des Kometen nähert sich der Erdbahn im niedersteigenden Knoten bis auf 0·003.

74. 1739. Wurde am 28. Mai von Zanotti entdeckt.

76. 1743 I. Die Beobachtungen zeigen, obwohl sie sehr unsicher sind, doch deutliche Spuren von Ellipticität. Clausen hält daher den Kometen für identisch mit dem 1819 IV (Nr. 145) und die in der Zwischenzeit erfolgte erhebliche Bahnänderung für eine Folge von Jupiterstörungen, die 1758 eintraten. Nach dieser Hypothese hätte der Komet vor 1758 eine Umlaufszeit von 6·73 und nachher eine von 5·60 Jahren gehabt. Der Erde näherte er sich am 11. Februar bis auf 0·051.

78. 1744. Angeblich der schönste Komet des vorigen Jahrhunderts, der zur Zeit seiner größten Helligkeit eine Zeit lang bei Tage sichtbar war, und Lichterscheinungen ähnlich denen des Halley'schen Kometen im Jahre 1835 zeigte. Als er nach seinem Periheldurchgange anfangs März 1744 wieder aus den Sonnenstrahlen hervortrat, war sein mächtiger Schweif in 7 Teile gespalten, was hauptsächlich durch die Zeichnungen von Cheseaux bekannt wurde, weshalb der Komet auch häufig der von Cheseaux genannt wird. Nach einer neuestens von Oudemans aufgefundenen Quelle wurde der Komet bereits am 29. Nov. von De Munck gesehen.

85. 1759 III. Wurde am 7. Januar 1860 in Lissabon, und am 8. von den Astronomen in Paris, London, Marseille und an mehreren anderen Orten bei einer Aufheiterung nach einer länger andauernden Periode trüben Wetters bemerkt, weil er sich der Erde rasch bis auf 0·075 genähert hatte, und dadurch plötzlich mit freiem Auge sichtbar wurde. Am 8. Januar 1760 bewegte sich das Gestirn durch einen Bogen von 32·5°.

87. 1763. Die Bahn des Kometen nähert sich eigentümlicher Weise der Erdbahn in beiden Knoten sehr erheblich: beim aufsteigenden bis auf 0·0315, beim niedersteigenden bis 0·0252 in einer Zwischenzeit von 77·2 Tagen.

90. 1766 II. Clausen und Winnecke vermuten, daß dieser Komet mit 1819 III (Nr. 144) identisch sei: zur Feststellung dieser Ansicht wäre aber eine Rückberechnung der Störungen nötig, da, falls die Vermutung richtig ist, das Gestirn in den Jahren 1800 und 1812 sehr nahe an Jupiter vorüberging. Entspricht übrigens die Bahn Burckhardt's auch nur annähernd der wahren, so war 1763 eine so bedeutende Annäherung des Kometen an Jupiter eingetreten, daß möglicherweise erst damals die Bahn in die jetzige umgestaltet wurde.

92. 1770 I. Dieser in theoretischer Beziehung höchst interessante Komet wird gewöhnlich als Lexell'scher bezeichnet, weil Lexell in Petersburg zuerst nachwies, daß er eine bis dahin an Kometen ungeahnt kurze Umlaufszeit von 5 Jahren 7 Monaten besitze. Zu dem über die zweimalige Umgestaltung seiner Bahn durch die Störungen Jupiters und seine ungemein große Annäherung an die Erde (0·015), sowie über die Untersuchungen betreffs seiner Identität mit 1889 V (Nr. 322) S. 549 ff. Gesagten, ist hinzuzufügen, daß der seither entdeckte Komet 1895 II nach Schulhof noch gegründetere Ansprüche darauf erheben kann, als der früher genannte, mit dem Lexell'schen identifiziert zu werden.

100. 1780 II. Sehr unsichere Bahn.

103. 1783. Die Bahn sicher elliptisch, wie schon Burckhardt bemerkte. Obwohl die Sichtbarkeitsverhältnisse sehr günstig waren, erschien der Komet doch nur sehr klein und schwach: es ist daher begreiflich, daß er seither nicht wiedergesehen wurde.

Nr.

116. 1792 II. Wurde, wie d'Arrest nachwies, am 14. Februar 1793 von Maskelyne zufällig im Meridiane beobachtet, und infolgedessen in mehrere ältere Nebelkataloge als ein nicht mehr auffindbarer Nebel aufgenommen.

118. 1793 II. Nach umfassenden Untersuchungen von C. H. F. Peters und d'Arrest sind die Ellipse Burckhardt's mit 12jähriger, und einige andere Bahnen mit kurzen Umlaufszeiten unzulässig: übrigens genügt auch eine Parabel den Beobachtungen.

120. 1797. Wurde am 14. August von Bouvard zu Paris, von Karoline Herschel zu Slough, von Lee zu Hackney, am 15. von Rüdiger in Leipzig, am 16. von Knecht in Berlin und am 17. von Flaugergues aufgefunden, hat also eigentlich 6 Entdecker. Am 16. August näherte er sich der Erde bis auf 0·088, fast so sehr, als es die Bahnlage überhaupt zuläßt, und wurde dabei trotzdem für das freie Auge eben nur sichtbar.

125. 1801. Lynn hält die Ansprüche von Reißig in Kassel auf Entdeckung dieses Kometen am 30. Juni nicht für stichhaltig. Die Beobachtungen desselben beginnen erst am 12. Juli; von Pons war er zu Marseille am 11. Juli, und fast in derselben Stunde, aber einen Tag später von Messier, Méchain und Bouvard in Paris aufgefunden worden.

129. 1807. Einer der schönsten und prachtvollsten Kometen, der an Glanz Sterne zweiter Größe übertraf, mit hell leuchtendem, gut begrenztem Kerne und einem Doppelschweife. Seit 1769 war keiner von solcher Größe erschienen; sein Glanz nahm indessen rasch ab, und schon zwei Monate nach seiner Entdeckung war es schwer, ihn mit bloßen Augen zu erkennen.

130. 1808 I. Im Jahre 1808 entdeckte Pons fünf Kometen (Februar 6, März 25, Juni 24, Juli 3 und einen im September), von denen jedoch blos die vom 25. März und 24. Juni für eine Bahnbestimmung hinreichend beobachtet werden konnten.

133. 1811 I. Einer der schönsten Kometen, der in diesem Jahrhunderte, was den Glanz und die Pracht der Erscheinung betrifft, nur im Donati'schen Kometen (1858 VI) und dem großen von 1882 einen Rivalen hat, und der bis vor kurzem, unter allen bisher erschienenen am längsten beobachtet wurde, und bereits eine Entfernung von 4·3 Erdbahnhalbachsen von der Erde, und 4·54 von der Sonne erreicht hatte, als ihn Wisniewsky das letzte Mal sah. (Vgl. S. 553.)

142. 1818 III. Rosenberger und Scherk haben auch eine hyperbolische Bahn mit einer Excentrizität $\varepsilon = 1{\cdot}01162$ berechnet, sie stellt aber die Beobachtungen kaum besser dar, als die hier gegebene wahrscheinlichste Parabel.

143. 1819 II. Dieser große Komet tauchte anfangs Juli plötzlich auf der nördlichen Hemisphäre auf, und ging der Rechnung zufolge am 26. Juni vor der Sonnenscheibe vorüber.

145. 1819 IV. Die Abweichung der Bahn von einer Parabel gewiß, aber wegen der Unvollkommenheit der Beobachtungen die Dauer der Umlaufszeit sehr unsicher. Er wurde mit sehr vielen Kometen zu identifizieren versucht: so von Clausen mit 1743 I (Nr. 76), von Laugier und Mauvais hingegen mit den Kometen 1585, 1678, 1770 I und 1844 I (Nr. 43, 56, 92 und 177).

146. 1821. Fast gleichzeitig auch noch von Blanplain, Olbers und Walbeck aufgefunden.

148. 1822 III. Näherte sich der Erde am 18. Juni bis auf 0·14.

150. 1823. Besonders merkwürdig dadurch, daß er vom 22. bis 31. Januar zwei Schweife zeigte: der kürzere hellere war 4° lang und von der Sonne abgewendet, der längere ihr zugewendete maß 7° und bildete mit dem ersten einen stumpfen Winkel von etwa 160°.

157. 1826 III. Wurde von Flaugergues für den kurz vorher von Biela (Febr. 27) und Gambart (März 9) aufgefundenen Biela'schen Kometen (Nr. 95) gehalten, und deshalb seiner Lichtschwäche wegen nicht weiter verfolgt. Die Bahn ganz und gar unzuverlässig.

159. 1826 V. Der Komet ging in den ersten Morgenstunden des 18. Nov. zwischen Sonne und Erde hindurch: es wurde auch während der Zeit des Durchganges die Sonne von Gambart beobachtet, der Komet auf ihr aber nicht gesehen.

162. 1827 III. Die letzte der langen Reihe von Kometenentdeckungen von Pons, welcher am 14. Oktober 1831 zu Florenz starb. Seine erste Kometenentdeckung war der Komet 1801 (Nr. 125) oder der 1802 (Nr. 126), je nachdem man Reißig's Ansprüche auf die Entdeckung des erstgenannten gelten lassen will, oder nicht.

166. 1833. Bietet wieder ein Beispiel der Annäherung an die Erdbahn in beiden Knoten dar. Die Entfernung beider Bahnen beträgt nämlich im aufsteigenden Knoten 0·092, im niedersteigenden 0·186.

174. 1843 I. Der berühmte Märzkomet von 1843. Näheres über diesen interessanten Himmelskörper S. 555.

Nr.

177. 1844 I. Näheres über diesen Kometen, namentlich seine vermutete Identität mit den Kometen 1894 IV (Nr. 342) und 1678 (Nr. 56) S. 545.

179. 1844 III. Der hyperbolische Charakter der Bahn sehr fraglich.

182. 1845 III. Die Umlaufszeit zu 249·8 Jahren wegen der nicht unwahrscheinlichen Identität mit dem Kometen 1596 (Nr. 46) angenommen.

187. 1846 VI. Die Ellipticität sicher: die Umlaufszeit läßt sich aber aus den wenigen einen so kurzen Bogen umspannenden Beobachtungen nicht genau ermitteln.

188. 1846 VII. Die Bahn nähert sich im niedersteigenden Knoten der Erdbahn auf 0·05.

189. 1846 VIII. Die Ähnlichkeit des scheinbaren Laufes dieses Kometen mit dem 1847 V (Nr. 194) veranlaßte Valz beide als Teile eines zerfallenen Kometen anzunehmen: eine Idee, die später von Hoek in erweiterter Form in seinen Kometensystemen wieder aufgenommen wurde.

190. 1847 I. Konnte am Tage des Perihels von Hind mittags in unmittelbarer Nähe der Sonne beobachtet werden.

192. 1847 III. Zeigte eigentümliche Lichtwechsel. Erreicht das Perihel kaum 10 Minuten früher als der folgende.

195. 1847 VI. Wurde im Laufe der nächsten Tage auch von De Vico, Dawes und Frau Rümker entdeckt. Die wahrscheinlichste Bahn dieses von zwei astronomischen Beobachterinnen entdeckten und von einer dritten Astronomin berechneten Kometen ist wohl eine, aber nicht verbürgbare Hyperbel.

201. 1850 II. Wurde unabhängig an 5 Orten entdeckt: Aug. 29 von Bond; Sept. 5 von Brorsen; Sept. 9 von Mauvais und Robertson und endlich Sept. 14 von Clausen.

205. 1852 II. Zog am 24. Mai in einer Entfernung von etwa 1° am Pole vorüber.

208. 1853 II. Näherte sich zwischen 28. und 29. April der Erde bis auf 0·085 und bot deshalb auf der Südhalbkugel eine ziemlich glänzende Erscheinung dar.

209. 1853 III. Großer Komet, dessen für Ende August vorausgesagte glänzende Erscheinung am Abendhimmel viel Aufsehen machte. Der Schweif dehnte sich 15° bis 20° aus. Er wurde von J. F. Schmidt zur Zeit des Perihels auch am Tage mit freiem Auge wahrgenommen, und von diesem und Hartnup in der Nähe der Sonne beobachtet.

212. 1854 II. Von J. F. Schmidt ebenfalls, aber nur im Fernrohr am Tage beobachtet.

214. 1854 IV. Dieser Komet hat nicht weniger als sechs Entdecker. Am 11. September fand ihn Klinkerfues; am 12. Bruhns; am 13. van Arsdale; am 18. Donati und Miß Mitchell; endlich am 21. Gussew.

226. 1858 VI. Dieser große, glänzende Komet, der an Pracht der Erscheinung für Europa in diesem Jahrhunderte nur wenige Nebenbuhler hat, ist ausführlich besprochen S. 578.

229. 1860 I. Entdeckt von E. Liais in Olinda (Brasilien) aber leider erst wenige Tage vor dem Ende seiner Sichtbarkeit, obschon er, bereits zwei Monate früher, selbst auf der nördlichen Hemisphäre hätte beobachtet werden können. Dies ist um so mehr zu bedauern, als der Komet merkwürdigerweise das zweite Beispiel einer Duplizität solcher Gestirne bot. Die Distanz der beiden Kerne, von denen der nördlich nachfolgende beträchtlich schwächer war, betrug nach Pechule 0·0025 der halben Erdbahnachse, kam also etwa der Entfernung des Mondes von der Erde gleich und scheint während der Dauer der Erscheinung sich sehr wenig geändert zu haben.

232. 1860 IV. Bahn sehr unsicher, da der Komet blos an drei auf einander folgenden Tagen, noch dazu sehr unsicher, beobachtet wurde.

233. 1861 I. Dieser Komet ist außer wegen seiner immerhin kurzen Umlaufszeit auch wegen seines Zusammenhanges mit dem Meteorschauer um den 20. April merkwürdig. (Siehe S. 264.)

234. 1861 II. Nähere Angaben über die eigentümliche Bahnlage dieses durch die immense Länge seines Schweifes ausgezeichneten Kometen, und die Veränderungen in der Hülle desselben enthält S. 584.

237. 1862 III. Zuerst wahrscheinlich von Swift in Marathon am 15. Juli entdeckt, der aber den damals sehr nahe stehenden Kometen 1862 II (Nr. 236) vor sich zu haben glaubte. Des Weiteren wurde aber das Gestirn dann aufgefunden: Juli 18 von Tuttle und Simons, Juli 22 von Paccinotti und Toussaint, Juli 25 von Rosa, Juli 26 von Schjellerup und August 1 von Bulard. Über die merkwürdigen periodischen Lichtänderungen im Kopfe des Kometen und seinen Zusammenhang mit dem Perseidenschwarme der Sternschnuppen vgl. S. 533 und 625.

241. 1863 III. Dieser Komet hat fünf Entdecker; er wurde gefunden: April 12 von Respighi, April 13 von Bäcker, April 16 von Winnecke und Tempel und April 18 von Karlinski.

Nr.

249. 1864 V. Schien während der Dauer seiner Sichtbarkeit zu verdampfen.

250. 1865 I. Ein schöner Komet, der Mitte Januar plötzlich auf der südlichen Halbkugel sichtbar wurde, mit an den großen Donati'schen Kometen erinnerndem Glanze. Von Mitte Februar an nahm aber seine Helligkeit rasch ab.

251. 1866 I. Dieser Komet zeichnet sich aus durch die kürzeste bisher bekannte Umlaufszeit unter den retrograden Himmelskörpern seiner Art, und durch seinen Zusammenhang mit dem um die Mitte November erscheinenden Schwarme von Sternschnuppen. Siehe S. 627.

253. 1867 II. Von den vier durch Tempel entdeckten Kometen von kurzer Periode (1866 I, 1867 II, 1869 III und 1873 II) wird dieser Komet, mit Übergehung des erstgenannten, dessen zweite Erscheinung erst am Ende unseres Jahrhunderts zu erwarten steht, gewöhnlich der erste periodische Komet von Tempel genannt, da seine Wiederkehr zuerst beobachtet wurde. Nach diesem Prinzipe erhielt auch der Komet 1869 III den Namen Dritter periodischer Komet von Tempel, da dessen Periodicität erst bei seiner Wiederentdeckung durch Swift im Jahre 1880 erkannt wurde, nachdem die Rückkehr des letztgenannten Kometen (1873 II) im Jahre 1878 die Dauer seiner Umlaufszeit bereits sichergestellt hatte.

262. 1871 II. Wegen seiner Annäherung an die Erde hätte die Helligkeit des Kometen bis Mitte Oktober zunehmen sollen; statt dessen wurde er so schwach, daß er schon am 20. Sept. unseren Blicken entschwand. Er zeigte daher wieder sehr deutlich, daß die Lichtentwickelungen bei Kometen nicht den gewöhnlichen Gesetzen folgen.

267. 1873 VII. Der Herausgeber hat die Identität dieses Kometen mit dem leider sehr mangelhaft beobachteten Kometen 1818 I (Nr. 140) wahrscheinlich gemacht, und hält seine Umlaufszeit für 6·2 Jahre, weil unter dieser Annahme sich die Bahn nicht nur der Jupiterbahn bis auf 0·001 nähert, sondern 1770 auch thatsächlich eine sehr bedeutende Annäherung beider Himmelskörper stattfand. Spätere ausgedehnte Untersuchungen von Schulhof haben zu einem ähnlichen Resultate geführt: es ist aber hier trotzdem nur eine parabolische Bahn gegeben, weil sich aus den blos sechstägigen Beobachtungen eine Abweichung der Bahn von der Parabel nicht nachweisen läßt.

270. 1874 III. Näheres über diesen interessanten Kometen findet sich S. 587.

272. 1874 V. Zeigte merkliche Schwankungen der Lichtstärke.

274. 1877 I. Wurde während seiner Erdnähe (kürzeste Distanz 0·28 am 17. Februar), eben dem freien Auge sichtbar, und bewegte sich dabei so schnell, daß er vom 12. bis 24. Februar ungefähr die Hälfte der nördlichen Hemisphäre des Himmels durchwanderte.

275. 1877 II. Zeigte längere Zeit hindurch außer dem gewöhnlichen, von der Sonne abgewendeten Hauptschweife von etwa 1^0 Länge, noch einen beiläufig 60^0 dagegen geneigten kurzen ($0·5^0$) Nebenschweif.

277. 1877 V. Wurde erst wenige Tage vor seinem Verschwinden auf der nördlichen Hemisphäre entdeckt, nachdem er ein volles halbes Jahr hindurch in viel günstigeren Sichtbarkeits-Verhältnissen unbemerkt geblieben war.

280. 1879 II. Der scheinbare Lauf dieses ziemlich lichtschwachen Kometen deshalb bemerkenswert, weil er fast genau durch den Nordpol ging, indem die geringste Poldistanz nur einige Sekunden betrug.

283. 1880 I. Näheres über diesen interessanten Kometen siehe S. 564.

286. 1880 V. Wurde von Pechule während der totalen Mondfinsternis vom 16. Dezember 1880 entdeckt.

290. 1881 V. Wurde leider erst um die Zeit seines Verschwindens aufgefunden, und muß namentlich auf der Südhalbkugel anfangs August, wo seine Helligkeit 28 mal größer war als bei seiner Entdeckung durch Denning, ein sehr auffälliges Objekt gewesen sein. Seine Bahn nähert sich der der Venus auf 0·023, der der Erde auf 0·035, der des Mars auf 0·065 und der des Jupiters auf 0·145; er muß daher sehr häufig große Störungen erleiden.

293. 1882 I. Konnte zur Zeit seines Periheldurchganges auch bei Tage beobachtet werden. Über die Änderungen, die sein Spektrum während der Sonnennähe erlitt, und die Folgerungen, die daraus gezogen werden können, siehe S. 577.

294. 1882 II. Dieser herrliche Komet tauchte, als der frühere kaum verschwunden war, plötzlich auf der südlichen Halbkugel auf, und wird wegen der Fülle neuer, vorher nie gesehener physischer Eigentümlichkeiten, die an ihm wahrgenommen und mit allen Hilfsmitteln der Neuzeit beobachtet wurden, wohl stets ein epochemachendes Phänomen in der Geschichte der Astronomie bilden. Näheres darüber S. 568.

297. 1883 II. Erst auf der südlichen Halbkugel nach seinem Periheldurchgange aufgefunden, obwohl er vor demselben auch auf der nördlichen Halbkugel sichtbar gewesen wäre.

300. 1885 II. Besitzt die größte Periheldistanz nach dem Kometen 1729 (Nr. 71).

Nr.

303. 1886 I. Im niedersteigenden Knoten nähert sich die Kometenbahn der Erdbahn bis auf 0·2 und da der Komet durch denselben am 29. April ging, während die Erde diesen Punkt ihrer Bahn nur $2^1/_2$ Tage früher erreichte, stieg die Helligkeit des Gestirns auf mehr als die tausendfache der Entdeckungshelligkeit, weshalb er um jene Zeit auch mit freiem Auge ein recht auffälliges Objekt wurde.

304. 1886 II. Auch der Lauf und die Sichtbarkeitsverhältnisse dieses Kometen waren wie die des vorhergehenden äußerst günstige. Er passierte den niedersteigenden Knoten, der 0·38 Erdbahnhalbmesser innerhalb der Erdbahn liegt, am 20. Mai, und 9 Tage später erreichte die Erde diese Länge: er wurde deshalb ebenfalls mit freiem Auge sichtbar, so daß unsere Halbkugel Ende April wieder das seltene Schauspiel genoß zwei schöne Kometen zugleich, und sogar nicht weit von einander zu erblicken. Die Bahn dieses Kometen ist zweifellos hyperbolisch; dieser Charakter wurde ihr aber, wie Thrän nachwies, erst in unserem Sonnensysteme durch die Störungen der Planeten aufgedrückt. (Vgl. S. 622.)

306. 1886 IV. In der zweiten Erscheinung (Anfang 1892) wurde der Komet, wohl nur wegen sehr ungünstiger Sichtbarkeitsverhältnisse nicht gesehen.

310. 1886 IX. Zeigte Mitte Dezember außer dem Hauptschweife von 10° Länge noch einen kurzen um 50° gegen denselben geneigten Nebenschweif, und sogar auch Ansätze eines Dritten.

311. 1887 I. Scheint in inniger Beziehung zur Kometengruppe: 1843 I, 1880 I und 1882 II zu stehen: es ist daher sehr zu bedauern, daß er wegen ungemein raschen Verblassens nur durch wenige Tage verfolgt werden konnte.

318. 1889 I. Die Jahre 1890 und 1891 werden in der Geschichte der Kometen stets denkwürdig bleiben, weil es in denselben gelang, mit den mächtigen Hilfsmitteln unserer Zeit kurz nacheinander vier noch dazu ziemlich unscheinbare Kometen [diesen sowie (1889 II, 1889 V und 1890 II)] durch Zeiträume zu beobachten, und bis in Entfernungen zu verfolgen, wie es vorher annähernd nur ganz ausnahmsweise bei einem oder dem anderen der mächtigsten Gestirne dieser Art möglich gewesen war (Komet 1811 I und 1729).

322. 1889 V. Wurde bei seiner Rückkehr zum Perihel (1896 Nov. 4) bereits am 20. Juni 1895 von Javelle ganz nahe an dem Orte wiedergefunden, den ihm die Rechnungen von Bauschinger anwiesen. Er gehört also jetzt auch zu jenen Kometen, die mit Sicherheit in mehr als einer Erscheinung gesehen wurden. Die hochinteressanten Untersuchungen, die sich an die Vorgeschichte dieses merkwürdigen Gestirns knüpfen, sind ausführlicher erörtert S. 549.

325. 1890 II. Die Bahn entschieden hyperbolisch: doch wurde sie dies nach den Untersuchungen von Strömgren ebenso wie beim Kometen 1886 II (Nr. 304) erst durch die Störungen der Planeten in den inneren Räumen unseres Sonnensystems.

329. 1890 VII. Wurde von Spitaler beim Aufsuchen des einen Tag vorher entdeckten Kometen 1890 IV aufgefunden, dem er damals optisch sehr nahe stand.

334. 1892 III. Näheres über diesen Kometen, der wohl zu den sonderbarsten gehört, die je erschienen sind, enthält S. 553. Die Bahn ist eine Ellipse, mit einer geringeren Excentrizität als bei irgend einem anderen bekannten Kometen. Die nächste Rückkehr zum Perihel findet 1899 Anfang Mai statt, wenn der Komet sich inzwischen nicht aufgelöst hat.

335. 1892 V. Der erste und bisher einzige auf photographischem Wege entdeckte Komet. Die Bahn nähert sich der der Marsbahn bis auf 0·012 und der des Jupiter bis auf 0·07; da ferner die Proximität der Bahn des Kometen Wolf (1884 III) mit der Jupiterbahn auf dieselbe Gegend des Himmels fällt, hält Schulhof diese beiden Kometen für Bruchstücke eines in dieser Gegend in mehrere Teile zerfallenen Kometen.

337. 1893 I. Als Kuriosum sei erwähnt, daß die Auffindung dieses Kometen, die Zahl der damals zugleich sichtbaren auf sechs brachte: nämlich Nr. 332 bis 337, die jedoch alle blos teleskopisch waren.

338. 1893 II. Wurde von Sperra für den Kometen von Finlay (1893 III) gehalten, dessen erste Rückkehr zum Perihel damals bevorstand: er unterließ daher die Anzeige seiner Auffindung. Bei rasch zunehmender Helligkeit wurde der Komet hierauf Anfang August fast gleichzeitig an vielen Orten mit freiem Auge aufgefunden.

Zusammenstellung der periodischen, in mehr als einer Perihelpassage beobachteten Kometen.

Durchgang durch das Perihel		Distanz d. Perih. vom Knoten	Länge des aufsteig. Knotens	Neigung	Perihel-distanz	Excen-tricität	Berechner
Jahr	mittl. Par. Zeit						
		1. Nr. 23. Komet Halley.					
12**v.Chr.	Okt. 8·80	108°	28°	170°	0·58	·	Hind.
66* n. Chr.	Jan. 14·2	67 40′	32 40′	139 30′	0·445	·	Hind.
141*	März 29·1	120 55	12 50	163 0	0·720	·	Hind.
989*	Sept. 12·0	180 .	84 .	163 .	0·568	·	Burckhardt.
1066**	April 1·0	120 55	25 50	163 0	0·720	·	Hind.
1378*	Nov. 8·77	107 46	47 17	162 4	0·584	·	Laugier.
1456**	Juni 8·209	104 19·3	43 46·1	162 22·6	0·5803	0·9678	Celoria.
1531*	Aug. 24·894	107 46	49 25	162 4	0·5670	·	Halley.
1607*	Okt. 26·9120	106 45·0	47 48·7	162 40·0	0·58507	0·96739	Halley.
1835 III†	Nov. 15·94539	110 38·5	55 10·0	162 14·9	0·58657	0·96739	Westphalen.

Die Elemente für die Kometen der Jahre 12 vor Chr., 66, 141, 989, 1066 und 1301 nach Chr., sind aus Beobachtungen berechnet, die fast ausschließlich aus China stammen. Sie lassen sich jedoch, ohne den auf uns gekommenen Nachrichten Zwang anzuthun, den Elementen des Halley'schen Kometen so weit nähern, daß Hind diese Kometen für frühere Perihelpassagen des genannten Kometen umsomehr anzusehen geneigt ist, als um jene Zeiten auch thatsächlich solche Perihelpassagen stattgefunden haben müssen. Hier sind aber die Elemente angeführt, welche ohne Anlehnung an diese Annahme abgeleitet wurden, um an einem instruktiven Beispiele die große Unsicherheit zu veranschaulichen, mit der die Bahnelemente behaftet sein können, welche für Kometen aus jenen Zeiten in unserem Verzeichnisse aufgeführt werden.

Die 10 zwischen 141 und 989 liegenden Rückkehren des Halley'schen Kometen zum Perihel sollen nach Hind eingetreten sein: 218 April 6, 295 Anfang April, 373 Anfang November, 451 Juli 3·5, 530 oder 531 Anfang November, 608 Ende Oktober, 684 Mitte Oktober, 760 Juni 11, 837 und 911 Anfang April. Die chinesischen Annalen und zum Teil auch die europäischen Chroniken erwähnen nämlich Erscheinungen bedeutender Kometen in diesen Jahren: allein die Angaben sind zu dürftig, als daß eigentliche Bahnberechnungen darauf begründet werden könnten; es mußte sich daher Hind mit dem Nachweise begnügen, daß die Elemente des Halley'schen Kometen unter Annahme der obigen Perihelzeiten den spärlichen auf uns gekommenen Nachrichten über diese Kometen genügen. Da nun unter der Annahme, der auf 1066 folgende Perihel-durchgang des Halley'schen Kometen sei auf den 19. April 1145 gefallen, sowohl die europäischen als auch die chinesischen Angaben über den Lauf eines großen Kometen dieses Jahres sich durch die Elemente des Halley'schen vollkommen darstellen lassen, und diese Elemente auch den wenigen Beobachtungen eines Kometen des Jahres 1223 genügen, wenn man den Perihel-durchgang in den Juli verlegt, scheint es, daß der Halley'sche Komet bei jeder Rückkehr zur Sonnennähe seit dem Jahre 12 v. Chr. gesehen wurde.

Auf das Jahr 1378 fällt die erste, zweifellose Erscheinung des Halley'schen Kometen. Die obige Bahn hat Langier 1846 aus chinesischen und europäischen Beobachtungen abgeleitet. Die für die Erscheinung des Kometen in 1456 angesetzte Bahn ist aus Beobachtungen von Toscanelli, die erst 1864 aufgefunden wurden, unter Voraussetzung einer Umlaufszeit von 76·2 Jahren berechnet. Die Bahn 1531 ist Halleys „Tabulae astronomicae" entnommen, in denen er auch ein Verzeichnis der 24 von ihm berechneten Kometenbahnen, das erste, das überhaupt angelegt wurde, giebt. Die Bahn für 1607 ist seiner Abhandlung „de motu cometarum in orbibus ellipticis" entlehnt, welche die Anzeige der Entdeckung der Periodicität dieses Kometen und die Vorhersage seiner Rückkehr fürs Jahr 1759 enthält. Mit Übergehung der Bahnen für die Perihel-durchgänge am 14. September 1682 und 12. März 1759 folgt schließlich noch die Bahn bei seiner letzten Erscheinung im Jahre 1835. Nach den Untersuchungen von Pontécoulant wird der Komet am 24. Mai 1910 das nächste Mal zum Perihel zurückkehren; die jetzige Revolution dauert daher bloß 74·5 Jahre, und ist die kürzeste seit 1378. Bezüglich weiterer Angaben über dieses interessante Gestirn s. S. 523 ff.

Durchgang durch das Perihel		Distanz d. Perih. vom Knoten	Länge des aufsteig. Knotens	Neigung	Perihel-distanz	Excen-tricität	Berechner
Jahr	mittl. Par. Zeit						
			2. Nr. 95. Komet Biela.				
1772	Febr. 20·12740	217° 40·1′	252° 25·9′	18° 51·1′	1·02812	·	Bessel.
1806 I†	Jan. 2·44109	218 1·7	251 28·4	12 43·2	0·91179	0·67692	Gauß.
1826 I	März 18·45311	218 21·5	251 27·3	13 33·9	0·90242	0·74660	Hubbard.
1846 IIA	Febr. 10·99966	223 8·6	245 54·2	12 34·9	0·85645	0·75666	Hubbard.
B	Febr. 11·08264	8·6	54·3	34·9	0·85647	0·75661	Hubbard.
1852 IIIA	Sept. 23·73388	223 16·9	245 51·4	12 33·3	0·86060	0·75592	Hubbard.
B	Sept. 23·06316	16·8	51·5	33·3	0·86062	0·75587	Hubbard.

Dieser Komet wurde 3 Mal entdeckt, ehe man seine Periodicität mit Sicherheit erkannte. Die erste Auffindung desselben im Jahre 1772 verdanken wir Montaigne und aus seinen und Messiers Beobachtungen während dieser Erscheinung ist die erste angeführte Bahn berechnet. Nach vier unbemerkt vorübergegangenen Perihelpassagen wurde er am 10. November 1805 neuerdings von Pons aufgefunden. Bei dieser Erscheinung näherte er sich der Erde am 9. Dezember bis auf 0·0366 und wurde dabei dem freien Auge sichtbar, verschwand aber leider während seines größten Glanzes auf der nördlichen Hemisphäre. Obwohl nun Gauß bereits im folgenden Jahre nachwies, daß die Beobachtungen mit jeder Ellipse von einer Umlaufszeit von mehr als 3 Jahren besser, stimmen als mit der Parabel, und aus ihnen die obige Bahn ableitete, welche bei einer Halbachse von 2·82 eine Umlaufszeit von 4·7 Jahren aufweist, wurde dies nicht weiter beachtet. Daran war einerseits der Umstand schuld, daß damals eine Umlaufszeit von so kurzer Dauer bei einem Kometen ganz unglaublich erschien, andererseits der, daß Gauß seine Identität mit dem Kometen von 1772 für unwahrscheinlich erklärte. Das Letztere ist darin begründet, daß der Komet sich im Mai und Juni 1794 dem Jupiter bis auf eine Entfernung von nur 0·47 genähert, und seine Bahn dabei eine gewaltige Störung erlitten hatte, was aber erst nach der Auffindung seiner wahren Umlaufszeit erkannt werden konnte. Es gingen daher abermals zwei Perihelpassagen unbemerkt vorüber, bis das Gestirn 1826 nochmals, und zwar am 26. Februar von Biela, und am 9. März von Gambart, vom Ersteren durch systematisches Nachsuchen, vom Letzteren zufällig aufgefunden wurde. Bei der nächsten Rückkehr zur Sonne wurde das Gestirn im Oktober 1832 wieder gefunden, bei der des Jahres 1839 wegen ungünstiger Sichtbarkeitsverhältnisse nicht gesehen, teilte sich 1846 in zwei Teile, erschien 1852 nochmals als Doppelkomet und scheint seither sich ganz aufgelöst zu haben. Ausführlicher besprochen sind diese Verhältnisse S. 536 ff. Die Umlaufszeit des Kometen betrug 1852: 6·62 Jahre.

Die oben für die beiden Kometenköpfe (A und B) angeführten Elemente sind unter der Voraussetzung berechnet, daß der Kopf A mit dem 1852 vorangehenden identisch sei.

			3. Nr. 107. Komet Encke.				
1786 I	Jan. 30·88	182° 30′	334° 8′	13° 36′	0·335	0·848	Encke.
1795	Dez. 21·44748	182 2·0	334 39·4	13 42·5	0·33443	0·84888	Encke.
1819 I	Jan. 27·25736	182 26·1	334 33·7	13 37·0	0·33518	0·84861	Encke.
1855 III	Juli 1·04121	183 26·9	334 26·3	13 8·1	0·33724	0·84773	v. Asten.
1891 III	Okt. 17·98599	183 57·3	334 41·5	12 55·0	0·34047	0·84647	Backlund.

Die Geschichte dieses Kometen, sowie die interessanten Untersuchungen, die sich an die beobachteten Unregelmäßigkeiten in seiner Bewegung knüpfen, sind S. 534 ff. erörtert. Seit der Entdeckung seiner Periodicität im Jahre 1819 ist er bereits 23 Mal zum Perihele zurückgekehrt, und wurde dabei jedesmal wiedergesehen. Die obige Auswahl von Elementen wurde getroffen, um einen Überblick über die Störungen zu gewinnen, denen er in dem Jahrhundert, seit welchem er bekannt ist, unterworfen war. Die letzte Perihelpassage des Kometen fand Anfang Februar 1895 statt: die nächste wird Ende Mai 1898 eintreten. Seine Umlaufszeit beläuft sich auf 3·31 Jahre.

			4. Nr. 113. Komet Tuttle.				
1790 II	Jan. 30·87628	207° 5·4′	268° 36·6′	54° 6·4′	1·04438	0·81933	Tischler.
1858 I	Febr. 23·52586	206 48·2	269 3·1	54 24·4	1·02555	0·82121	Rahts.
1885 IV	Sept. 11·14915	206 47·0	269 42·0	54 19·8	1·02473	0·82154	Rahts.

Der Komet wurde als ein periodischer von 13·75 Jahren Umlaufszeit erkannt, als er nach 5 unbemerkt vorübergegangenen Rückkünften zur Sonne 1858 zum zweitenmale von Tuttle (4. Januar) und Bruhns (11. Januar) entdeckt wurde. Die für die Perihelduchgänge in 1858 und 1885 angeführten Elemente sind aus einer Verbindung der beiden Erscheinungen 1858 und 1875 erhalten: sie unterscheiden sich daher nur um den Betrag der Störungen in der Zwischenzeit.

Durchgang durch das Perihel		Distanz d. Perih. vom Knoten	Länge des aufsteig. Knotens	Neigung	Perihel-distanz	Excentricität	Berechner
Jahr	mittl. Par. Zeit						
5. Nr. 135. Komet Pons-Brooks.							
1812 †	Sept. 15·33210	199° 19·1′	253° 0·7′	73° 57·6	0·77712	0·95558	Schulhof, und
1884 I†	Jan. 25·72388	199 11·6	254 5·7	74 2·6	0·77573	0·95500	Bossert.
6. Nr. 138. Komet Olbers.							
1815 †	April 25·99943	65° 33·3′	83° 28 8′	44° 29·9′	1·21283	0·93115	Ginzel.
1887 V	Okt. 8·48531	65 20·2	84 32·3	44 34·3	1·19912	0·93113	Ginzel.
7. Nr. 144. Komet Winnecke.							
1819 III	Juli 18·90670	161° 30·1′	113° 10·8′	10° 42·8′	0·77364	0·75519	Encke.
1858 II	Mai 2·04471	162 7·1	113 31·8	10 48·2	0·76896	0·75484	v. Oppolzer.
1892 IV	Juni 30·89430	172 6·5	104 4·6	14 31·6	0·88655	0·72599	v. Härdtl.
8. Nr. 176. Komet Faye.							
1843 III	Okt. 17·13672	200° 3·9′	209° 29·4′	11° 22·5′	1·69223	0·55583	Möller.
1888 IV	Aug. 19·94	201 13·4	209 35·4	11 19·7	1·73814	0·54902	Möller.
9. Nr. 184. Komet Brorsen.							
1840	April 30·19	8° 8′	103° 42′	46° 19′	0·7152	0·7608	Harzer.
1846 III	Febr. 25·375	13 46·6	102 41·7	30 55·3	0·65013	0·79307	Bruhns.
1879 I	März 30·54133	14 55·1	101 19·0	29 23·2	0·58984	0·80984	Lamp.

Zu dem, was S. 542 ff. über diesen lichtschwachen Kometen mit einer Umlaufszeit von 7·5 Jahren mitgeteilt wurde, ist hier nichts weiter hinzuzufügen.

Obwohl die Natur der Bahn dieses Kometen schon aus den Beobachtungen des Jahres 1846 erkannt worden war, konnte er bei seiner Rückkehr zum Perihel im Jahre 1851 nicht gefunden werden, und mußte deshalb 1857 (März 18) abermals von Bruhns entdeckt werden. Auch die Nachsuchungen nach demselben sind bei den beiden letzten auf 1879 folgenden Wiederkünften zum Perihel in den Jahren 1884 und 1890 erfolglos geblieben. Über eine mögliche Ursache davon, und die eigentümlichen Erscheinungen, die das Gestirn nach seinen Perihelpassagen bei seiner Entfernung von der Sonne zeigte, vgl. das S. 548, 549 darüber gesagte. Die Umlaufszeit belief sich bei der letzten Erscheinung auf 5·4 Jahre.

Bereits kurz nach seiner Entdeckung machte D'Arrest darauf aufmerksam, daß der Komet sich Jupiter sehr bedeutend nähern könne. Eine solche Annäherung fand z. B. wenige Jahre vor seiner Auffindung zwischen April und Mitte Juli 1842 statt, wo er sich am 27. Mai dem Jupiter auf 0·055 näherte. Die Wirkungen dieser Annäherung auf die Bahn des Kometen hat Harzer genauer untersucht, und für die Bahn vor derselben die oben als ersten angeführten Elemente erhalten. Die Untersuchungen von Harzer ergaben weiter, daß auch 1759 und 1760 das Gestirn sich Jupiter sehr erheblich näherte, und dabei wahrscheinlich erst die oben genannte Bahn erhalten hat, und daß, wie dies auch schon D'Arrest vorausgesagt hat, 1935 abermals eine Umformung seiner Bahn eintreten wird, — wenn er bis dahin nicht bereits aufgehört hat, als Komet zu existieren.

Durchgang durch das Perihel		Distanz d. Perih. vom Knoten	Länge des aufsteig. Knotens	Neigung	Perihel-distanz	Excen-tricität	Berechner
Jahr	mittl. Par. Zeit						
10. Nr. 202. Komet D'Arrest.							
1851 II	Juli 8·68045	174° 31·0′	148° 43·3′	13° 55·2′	1·17331	0·65928	Leveau.
1890 V	Sept. 17·49316	172 58·0	146 16·5	15 42·7	1·32404	0·62713	Leveau.

Die bereits kurz nach seiner Auffindung von dem Entdecker D'Arrest und von anderen auf 6·4 Jahre berechnete Umlaufszeit hat durch die 1857 wirklich erfolgte Wiederkehr vollkommene Bestätigung gefunden. Der lichtschwache Komet ist seitdem noch in drei weiteren Erscheinungen: 1870, 1877 und 1890 beobachtet worden. Die bedeutende Differenz zwischen den beiden oben angeführten Elementensystemen rührt von einer großen Störung durch Jupiter her, dem sich der Komet im April 1861 bis auf 0·36 näherte.

11. Nr. 253. Komet $Tempel_1$.							
1867 II	Mai 23·92690	134° 59·4′	101° 10·2′	6° 24·6′	1·56356	0·50971	R. Gautier.
1873 I	Mai 9·80024	159 19·1	78 43·8	9 46·0	1·77117	0·46262	R. Gautier.
1879 III	Mai 7·12421	159 29·6	78 45·9	9 46·1	1·77111	0·46255	R. Gautier.
1885	Sept. 25·77	168 58	72 24	10 50	2·0727	0·4053	R. Gautier.

Von den vier durch Tempel entdeckten Kometen von kurzer Periode (1866 I, 1867 II, 1869 III, und 1873 II) wird dieser Komet (1867 II) gewöhnlich der erste periodische Komet von Tempel genannt, da seine Wiederkehr zuerst beobachtet wurde. Nach diesem Prinzipe erhielt auch 1873 II den Namen zweiter periodischer Komet von Tempel, weil seine Rückkehr zum Perihel im Jahre 1878 die Dauer seiner Umlaufszeit feststellte, während die Periodicität von 1869 III erst bei seiner Wiederentdeckung in 1880 erkannt wurde. Dieser heißt daher dritter periodischer Komet von Tempel, während dem 1866 I, also dem erstentdeckten, der Name vierter periodischer Komet von Tempel zufallen wird, da seine Rückkehr erst am Ende unseres Jahrhunderts zu erwarten steht.

Der vorliegende Komet näherte sich sogleich bei seinem ersten Umlaufe Jupiter sehr bedeutend. Seine Entfernung von diesem mächtigen Planeten blieb durch mehr als zwei Jahre (1869, 1870) kleiner als die mittlere Distanz der Erde von der Sonne, und sank im Januar 1870 auf etwa $^1/_3$ derselben hinab. Die bedeutende Umgestaltung, welche seine Bahn dadurch erlitt, erkennt man sofort durch die Vergleichung der Elementensysteme für die beiden genannten Erscheinungen.

Zwischen 1879 und 1885 erfolgte abermals eine erhebliche Umgestaltung seiner Bahn, wie ein Blick auf das zuletzt angeführte Elementensystem zeigt, das R. Gautier für die Erscheinung des Kometen in 1885 vorausberechnet hatte. Wie man aus demselben ersieht, haben die Störungen bisher die Perihelditanz stets vergrößert, es hat sich dadurch die Helligkeit des sehr lichtschwachen Gestirnes bei seinen Perihelpassagen derart vermindert, daß er, wenn nicht für immer, so wenigstens für lange Zeit unseren Blicken entzogen bleiben wird, wie er denn auch in der That bei seinen letzten zwei Rückkehren zur Sonne in 1885 und 1892 nicht wiedergefunden werden konnte. Die Umlaufszeiten in den obigen 4 Bahnen betrugen der Reihe nach 5·69, 5·98, 5·98 und 6·51 Jahre.

12. Nr. 257. Komet $Tempel_3$-Swift.							
1869 III	Nov. 18·81503	106° 12·7′	296° 46·0′	5° 23·9′	1·06314	0·65809	Bossert.
1891 V	Nov. 14·95835	106 43·0	296 31·3	5 23·2	1·08660	0·65270	Bossert.

Die Beobachtungen des Kometen in der ersten Erscheinung umfaßten einen zu kurzen Zeitraum, um aus demselben die Elliptizität seiner Bahn mit Sicherheit zu erkennen: es bedurfte daher einer Neuentdeckung des Kometen am 10. Oktober durch L. Swift, um sie zu konstatieren. Der Komet hat eine Umlaufszeit von fast genau 5·5 Jahren, und deshalb die Eigenthümlichkeit, daß, wenn einmal, wie dies jetzt der Fall ist, eine Perihelpassage unter sehr günstigen Sichtbarkeitsverhältnissen eintritt, eine Reihe von Umläufen hindurch für die Sichtbarkeit sehr günstige und sehr ungünstige Erscheinungen regelmäßig miteinander abwechseln. So war seine Helligkeit bei der Perihelpassage im Mai 1875 mehr als 100 mal geringer als bei den Perihelpassagen im November 1869 und 1880, was zur Genüge erklärt, daß er in jenem Jahre nicht aufgefunden wurde. Ebenso gering war seine Lichtstärke bei der Perihelpassage im Mai 1886 und derselbe Fall wird auch bei der kommenden im Mai 1897 eintreten: wir werden ihn daher erst wieder bei der im November 1902 erblicken.

13. Nr. 264. Komet $Tempel_2$.							
1873 II	Juni 25·21431	185° 9·2′	120° 56·7′	12° 45·4′	1·34412	0·55260	Schulhof.
1894 III	April 23·31967	185 4·8	121 10·1	12 44·4	1·35062	0·55108	Schulhof.

Nachdem die kurze Umlaufszeit dieses Kometen von 5·21 Jahren, die kürzeste nach dem Encke'schen Kometen, durch seine Rückkehr zur Sonne im Jahre 1878 festgestellt worden war,

Durchgang durch das Perihel		Distanz d. Perih. vom Knoten	Länge des aufsteig. Knoten	Neigung	Perihel-distanz	Excen-tricität	Berechner
Jahr	mittl. Par. Zeit						

konnte er bei den beiden folgenden Erscheinungen in 1884 und 1889 wegen ungünstigen Sichtbarkeitsverhältnissen nicht gesehen werden. Trotzdem zeigten die Beobachtungen von 1894 eine vorzügliche Übereinstimmung mit der Vorausberechnung von Schulhof.

14. Nr 299. Komet Wolf.

1869	Nov. 19·97	157° 13′	208° 27′	29° 27′	2·5434	0·3911	Lehmann Filhés.
1878	Jan. 26·97	170 38	207 41	27 27	1·5577	0·5670	Lehmann Filhés.
1884 III	Nov. 17·79360	172 42·5	206 21·9	25 15·7	1·57199	0·56094	Thrän.
1891 II	Sept. 3·43865	172 48·4	206 22·3	25 14·6	1·59279	0·55719	Thrän.

Bereits kurze Zeit nach der Entdeckung dieses Kometen zeigte sich, daß sein Lauf durch eine parabolische Bahn sich nicht darstellen lasse, und gleich bei der Berechnung der ersten elliptischen Elemente machte Krüger darauf aufmerksam, daß er erst im Jahre 1875 bei einer sehr bedeutenden Annäherung an Jupiter in die jetzige Bahn gedrängt worden sei. Nachdem Lehmann-Filhés durch eine vorläufige Rechnung sich von der Richtigkeit dieser Annahme überzeugt hatte, schritt er zu einer genaueren Untersuchung der diesbezüglichen Verhältnisse, welche zu dem folgenden bemerkenswerten Ergebnisse führte.

Im Jahre 1875 verweilte der Komet in der Anziehungssphäre Jupiters, d. h. in einer so bedeutenden Nähe von demselben, daß die Anziehung dieses Planeten die der Sonne überwog vom 5. April bis 13. August, und näherte sich demselben am 9. Juni bis auf 0·121. Von der Größe der Umgestaltung, welche die Bahn des Kometen dabei erlitt, liefert die Vergleichung der ersten drei Bahnen ein anschauliches Bild. Es sind jene, die der Komet beschrieb:

1. Vor seinem Eintritte in die Anziehungssphäre Jupiters, d. h. vor dem 5. April 1875.

2. Nach seinem Austritte aus derselben, d. h. nach dem 13. August 1875. Daß das Gestirn bei der Perihelpassage in 1878 nicht aufgefunden wurde, haben wahrscheinlich nur die ungünstigen Sichtbarkeitsverhältnisse verschuldet.

3. Bei seiner Erscheinung 1884, 1885. Es sind dies die definitiven Elemente von Pfarrer Thrän, welche derselbe aus einer sehr sorgfältigen Diskussion aller 930 zwischen dem 20. September 1884 und 6. April 1885 gesammelten Beobachtungen erhalten hat. Sie bilden den Ausgangspunkt der Untersuchungen von Lehmann-Filhés; das zweite Elementensystem unterscheidet sich daher von diesem nur um den Betrag der Störungen, welche von Jupiter und Saturn vom 13. August 1875 bis 23. Dezember 1884 auf den Kometen ausgeübt wurden. Das vierte Elementensystem endlich ist aus einer Verbindung der Beobachtungen der ersten und zweiten Erscheinung gewonnen worden.

Über die Folgerungen, welche Schulhof aus der Ähnlichkeit der Elemente dieses Kometen mit denen des ebenfalls periodischen 1892 V (Nr. 335) zieht, vergl. die Notiz S. 1072.

15. Nr. 308. Komet Finlay.

1886 VII	Nov. 22·39464	315° 5·6′	52° 28·9′	3° 1·7′	0·99755	0·71787	Schulhof.
1893 III	Juli 12 18195	315 31·9	52 27·7	3 2·0	0·98914	0·71951	Schulhof.

Die anfänglich vermutete Identität dieses Kometen mit 1844 I (Nr. 177) konnte später nicht aufrecht erhalten werden. Vergl. S. 545. Seine Umlaufszeit beträgt jetzt 6·62 Jahre.

16. Nr. 322. Komet Brooks. (1889 V).

Bezüglich dieses hochinteressanten Gestirnes, vergl. die Notiz S. 1072. Derselben wäre nur noch hinzuzufügen, daß in der zweiten Erscheinung bisher erst ein Kometenkopf aufgefunden wurde, so daß die übrigen sich inzwischen aufgelöst haben dürften. Es steht daher zu befürchten, daß dieses Schicksal binnen kurzem, vielleicht sogar schon vor seiner nächsten Rückkehr zum Perihel, auch den Hauptkometen ereilen wird.

Als Ergänzung zu dem S. 551 bemerkten möge noch erwähnt werden, daß Schulhof die Identität dieses Kometen mit dem Lexell'schen bestreitet und der Ansicht ist, es könnte ein anderer seither von L. Swift am 20. August 1895 entdeckter periodischer Komet (1895 II) von rund 7 Jahren Umlaufszeit, begründetere Ansprüche auf eine Identität mit Lexells Kometen erheben.

Auch die letzten, umfassenden Untersuchungen von C. L. Poor haben die Identität beider Himmelskörper, die anfänglich zweifellos schien, unwahrscheinlich gemacht.

Alphabetisches Sach- und Namenregister.

A. Sachregister.

Die Ziffern bedeuten die Seiten. Nicht aufgeführt sind die Namen der Sternbilder und die Eigennamen einzelner Sterne: dieselben finden sich S. 216–219 und S. 220, 221. Ebenso sind auch die Namen der Asteroiden nicht aufgenommen, weil das alphabetische Namenregister in der Übersicht des Planetensystems (S. 1036, 1037) sofort erkennen läßt, an welcher Stelle in der Geschichte der Entdeckung dieser Körper (S. 360–384) man das Nähere über das betreffende Gestirn findet, falls es dort besprochen ist. Auch der Schluß des Werkes „Elemente der Planeten, Satelliten und Kometen unseres Sonnensystems" (von S. 1022 an) ist nicht berücksichtigt.

Abend s. West.
Abendstern (Venus) 320.
Abendsterne 129.
Abendweite 207.
Aberration der Fixsterne 104.
— nicht aus der Parallaxe zu erklären 105.
Ursache der — 113.
Winkel der — 114.
Ellipse der — 113.
— der Planeten, oder Lichtgleichung 115.
Bestimmung der — 942.
Ablesemikroskop 989.
Abplattung der Erde 49.
— eine Folge der Rotation 799.
Bestimmung der — durch Gradmessungen 34.
Bestimmung der — aus Mondstörungen 827.
— der Planeten s. diese.
Absorption des Lichtes in der Atmosphäre 198.
— im Weltraum 663.
Abweichung, sphärische 882.
— chromatische 883.
— s. auch Deklination.
Accadier 121, 123.
Acceleration der Fixsterne 173.
— der mittleren Bewegung des Mondes 803, 836.
Berechnung der — der Schwere auf den Himmelskörpern 795.
Achse der Kreise 9.
— der Ellipse 150.
— einer Linse 876.
freie — der Rotation 791.
konstante Lage der — der Erde 127.
große — der Planetenbahnen unveränderlich 854.
Ägypten, alte astronomische Beobachtungen in 123.
Astronomie in — 120, 123.
Äquator 12, 38.
Gebrauch des — am Globus statt der Rose 210.
Äquatorhöhe 17.
Äquatorial 959.
Rektifikation des — 961.
Beobachtungen mit dem — 974.
Vorteile des — für den Beobachter 975.
historische Notizen übers — 966.
Verschiedene Formen des — 968 ff.
Äquatorial coudé 970.
Äquinoktial- oder Nachtgleichenlinie 88.
Äquinoktial — oder Nachtgleichenpunkte 16, 67.
Bestimmung der — durch Beobachtungen 73.
Aërolithen
Erscheinungen bei — Fällen 598.
Häufigkeit der — Fälle 600.
Detonationen bei — 598, 602.
Zahl der herabfallenden — Stücke 601.
älteste Nachrichten über — Fälle 603.
Aber- und Unglaube bezüglich der — Fälle 604.
Ursprung der — 621.
Albedo der Planeten 307, 317, 398.
Alhydade 944.
Alignement; Erkennen der Gestirne durch — 216.
Almagest 135.
Almukantarat 19.
Altazimut 953.
Anomalie, mittlere und wahre 158.
s. auch Planeten, Ungleichheit.
Anomalistischer Monat 456.

Antipoden 44.
Anziehungskraft s. Schwere.
Aorates, Name für Asteroiden 362.
Apex der Erdbewegung 611.
— Sonnenbewegung 670.
Aphelium oder Sonnenferne 145.
Apogäum oder Erdferne 144.
Apsiden 144.
Bestimmung ihrer Lage 165.
Änderung ihrer Lage 165.
Einfluß der Änderung der — der Erdbahn auf Jahreszeiten 166.
Bewegung der — der Mondbahn 456, 832, 837.
Araber, Astronomie der — 33, 72, 124.
Argo-Nebel 748, 756.
Argument der Breite 157.
Armillarsphäre (Armille) 871.
Bestimmung der Rektascension und Deklination mit — 872.
Bestimmung der Zeit mit — 872, 900.
Asteroiden
füllen eine Lücke zwischen den alten Planeten 359, 362.
Namen der — 360, 365, 391.
Zeichen der — 360, 365.
Geschichte der Entdeckung der — 359 ff.
Statistische Notizen über die — 384, 392.
Berechnung der — 386.
Ursprung der — 401.
Häufige Ähnlichkeit der Bahnen der — 402.
Anzahl der — 394.
Größe der — 397.
Masse der — 400.
Bewohner der — 400.
Lage und Anordnung der Bahnen der — 401.
gruppenweises Vorkommen, Lücken, Ineinandergreifen der Bahnen u. s. w. 402.
Bahnnähen und physische Zusammenkünfte 404.
Verwandtschaft mit Kometen und Meteoren 400.
Astrolabium 871, 998.
Astronomie
älteste Beobachtungen 33, 71, 121, 123 ff., 182.
nautische — 995.
Liebhabertum in der — 1018.
Astronomischer Ring s. Armillarsphäre.
Atmosphäre der Erde
Höhe und Dichtigkeit 190.
Absorption des Lichtes in der — 198.
Brechung des Lichtes in der — 191.
Reflexion des Lichtes in der — 196.
Ebbe und Flut der — 817.
Atmosphäre der Sonne 276.
Bedeutung einer — für den Planeten 316.
— der Planeten s. diese.
Attraktion s. Schwere.
Auf- und Untergang 19.
kosmischer — 64, 207.
heliakischer — 64.
achronischer — 208
mittelst des Globus zu finden 207, 212.
Aufsteigender Knoten 155.
Aufsteigung gerade s. Rektascension.
Austriaca sidera (Sonnenflecken) 289.
Azimut 14, 24.
— und Höhe eines Sternes mittelst Globus zu finden 208.

Bätylen 603.
Bahn, aus der — geworfener Körper 780.
Bahnbestimmung der Himmelskörper s. Planeten, Kometen, Doppelsterne.
Bayeux, Stickerei von — stellt Halleys Kometen vor 524.
Beleuchtung der Erde durch die Sonne mittelst Globus zu finden 213.
Beobachtungen.
Genauigkeit der — überhaupt 819.
Fehler der — systematische (konstante) 1002.
zufällige 1003.
alte astronomische — s. Astronomie
Berge, höchste der Erde 31, 193.
Bewegung
tägliche des Himmels 36.
tägliche der Erde 39.
jährliche der Sonne 63.
jährliche der Erde 76.
scheinbare (parallaktische) der Gegenstände 93.
scheinbare der Planeten 127 ff.
mittlere der Planeten 158.
gleichförmige 760.
gleichförmig beschleunigte 760.
in krummen Linien überhaupt 760.
durch Centralkräfte 783.
elliptische 150.
im widerstehenden Mittel 535.
Bielidenstrom 630.
Bildweite (einer Linse) 878.
Blendgläser 266.
Bodesches Gesetz 358.
Bogen und Zeit 9.
Bohnenbergersches Maschinchen 792.
Bolide 596 (s. auch Sternschnuppen).
Borbonica luna (Sonnenflecken) 289.
Brachyt (Reflektor) 888.
Brechung, doppelte 240.
— durch ein Prisma 242.
— durch Linsen 877.
— s. auch Refraktion.
Breite, astrographische 15, 16, 24.
geographische 17.
mittelst Globus aus Rektascension und Deklination zu finden 206.
— der Planeten 157.
Argument — 157.
Bestimmung der — im Meridian 899.
Bestimmung der — im ersten Vertikal 942.
Breitenkreis 24.
Brennglas 877.
Brennpunkt der Ellipse 150.
— einer Linse 877.
Brennweite (Brennpunkt) 878.

British Association, Sternkarten zu Meteorbeobachtungen 616.
Brontia 603.
Bussole 996.

Centralfeuer 804.
Centralkraft 784.
Centralsonne 668.
Centrifugalkraft s. Fliehkraft.
Centrifugalpendel als Regulator 965.
Chaldäer, Anfänge der Astronomie 123.
alte Beobachtungen der — 182.
Charakteristik eines Planetensystems 153, 787.
Chinesen, Astronomie der 123.
alte Beobachtungen der — 71, 72, 123.
Chromosphäre der Sonne 285.
Chronometer 926.
Prüfung von — 926.
Längenbestimmung durch — 995, 999.
Circumpolarsterne 20.
— mittelst Globus zu finden 206.
Corona (bei totalen Sonnenfinsternissen) 279.
Polarisation der — 283.
Spektrum der — 283.
Versuche die — außer totalen Finsternissen zu photographieren 284.

Dämmerung 191, 197.
Datumsprung 61.
Davysches Licht, verglichen mit der Sonne 291.
Deferirender Kreis 133.
Deklination oder Abweichung der Gestirne 14, 24.
— durch Polhöhe und Zenitdistanz gegeben 21.
— aus Länge und Breite zu finden 206.
Bestimmung der — im Ersten Vertikal 942.
Bestimmung der — im Meridian 948.
Deklinations- oder Stundenkreis 14, 24.
Denderah, Tierkreis 122.
Depression des Horizontes 29.
Dichte überhaupt 51.
— der Himmelskörper 808.
— der Erde 809.
— nimmt gegen den Mittelpunkt zu 800.
Differenz-Beobachtungen 975.
Digression 128.
Dioptrisches Fernrohr = Refraktor s. Fernrohr.
Dipleidoskop 904.
Distanz s. Entfernung.
Donnersteine 603
Doppelsterne
physische und optische 673, 677.
Spektroskopische Auffindung von — 700.
Klassen der — 672.
Verschiedenheit der — 672.
Verhältnis der — zu den einfachen 673.
Verteilung der — am Himmel 674.
Positionswinkel und Distanz 672.
Bewegung der — 677.
Bedeckungen von — unter einander 679, 682, 683, 685.
Doppelsterne
Bahnbestimmung der — 679, 700.
Neigung und Knoten 680.
Direkte und retrograde Bewegung 680.
Bahnelemente einiger — 681, 701.
Näheres über einzelne — 682 ff.
— unterliegen dem Gesetz der allgemeinen Schwere 691.
Bestimmung der Massen von — 682, 684, 686 ff., 691.
Farben der — 675, 683, 685 ff.
Erklärung dieser Farben 676.
— als Prüfungsmittel der Fernrohre 689.
Planeten der — 691.
Bahnen der Planeten der — 692.
Anblick des Himmels von den Planeten der — 693.
Dunkle Akolyten 683, 684, 689, 712, 720, 721, 724.
— verbunden mit Nebeln und Sternhaufen 731 ff., 740 ff.
Geschichte der Entdeckung der — 702.
Dopplersches Prinzip 264, 428, 666, 700.
Drachenmonat 456, 832.
Dreiecke graphische Auflösung der — 70.
Drummonds Licht verglichen mit der Sonne 291.
Durchgänge Merkurs 318.
— der Venus 329.
Wichtigkeit dieser zur Bestimmung der Sonnenentfernung 329.
Epoche derselben 329.
Berechnung der — 334.
Vorzüge dieser Methode 336.
Schwierigkeiten der Beobachtung der — 337.
früheste Beobachtungen — 330.
von 1769, 1874 und 1882, 333, 338.

Ebbe und Flut.
allgemeine Erscheinungen — 811.
Perioden der — 812.
Einfluß der Lokalverhältnisse auf — 813.
Hafenetablissement 813.
Berechnung der — 814.
Erklärung der — 812, 814.
Geschichte der Theorie der — 816.
Bestimmung der Mondmasse durch — 816.
— der Atmosphäre 817.
Eigenbewegung der Fixsterne 664, 694.
— der Sonne 669.
Ekliptik oder Sonnenbahn 16.
Schiefe der — 16, 24, 68.
Lage der — am Himmel 65.
Bestimmung dieser Lage 66, 69.
ältere und neuere Bestimmungen der Lage — 68, 72.
säkulare Änderung der Schiefe der — 71.
Einfluß der Schiefe der — auf die Jahreszeiten 72, 92.
Sternkarten der — 364.
Elam, älteste Heimat der Astronomie 123.

Elemente der Planeten- und Kometenbahnen 158.
Bestimmung der — einer Planeten- und Kometenbahn 160 ff., 361, 437.
Bestimmung der — einer Doppelsternbahn 679.
Elliptische Bewegung der Himmelskörper 150.
Ellipse, Eigenschaften der 149.
— ein Kegelschnitt 785.
Wahrscheinlichkeit der — als Bahnform 789.
oskulierende — 829.
Emanationshypothese des Lichtes 230.
Energie, Erhaltung der — 233.
kinetische — 234.
Entfernung
Bestimmung der — unzugänglicher irdischer Objekte 94.
— der Gestirne aus der Parallaxe 99.
kürzeste — der Kometen von der Sonne = Periheldistanz 150.
mittlere — der Planeten von der Sonne = halbe große Achse 150, 160.
— bei Planeten aus Digression zu bestimmen 164.
— bei Mond aus Quadraturen 164.
Bestimmung des Verhältnisses der — der Planeten von der Sonne 164.
Mittel die — der Sonne zu finden 340.
Epicykel, zur Erklärung der zweiten Ungleichheit der Planeten 133.
nähere Bestimmung der — 135.
Epoche der Planeten 158.
Erde
erster Anblick der — 25.
erste genäherte Bestimmung der Gestalt der — 26.
Gesichtswinkel des Horizontes 29.
Größe der — aus dem Gesichtswinkel 31.
Beweise der Kugelgestalt der — 27.
Folgen der Kugelgestalt der — 28.
genauere Bestimmung der Gestalt der — 32, 49.
Geschichte der Gradmessungen 33.
Abplattung der — 49, 800, 827.
Zweifel über die Gestalt der — 34.
Erklärung der täglichen Bewegung durch die Rotation der — 39.
Wahrscheinlichkeit der Rotation der — 39.
Beweise für die Rotation der — 45, 58.
Einwürfe gegen die Rotation — und deren Widerlegung 43.
Folgen der Rotation der — 61.
jährliche Bewegung der — 77.
Wahrscheinlichkeit dieser Bewegung 78.
Beweis derselben aus dem 3. Keplerschen Gesetze 81.
Geschwindigkeit der täglichen und jährlichen Bewegung 82.
die jährliche Bewegung eine Folge der täglichen 81.
Zonen der — und deren Temperatur 88.
Beleuchtung der — durch die Sonne zu einer bestimmten Zeit mit Globus zu finden 213.
astronomisches Zeichen der — 321.
Erde
säkulare Störungen der Bahn der — 840.
die — war anfänglich in einem flüssigen Zustande 800.
Centralfeuer der — 804.
Abkühlung der — seit historischer Zeit unmerklich 807.
Zusammenhang der Abkühlung mit der Rotationsdauer der — 806.
Unveränderlichkeit der Rotationsdauer oder des Tages — 802.
Alter der — 807.
ursprünglicher Stoß auf die — 81, 787.
ursprüngliche Geschwindigkeit der Bahnbewegung der — 788.
Lage der Achse der — unveränderlich 127, 800.
periodische Schwankungen der — Achse 802.
Dichte der — 809.
Zunahme der Dichte der — gegen den Mittelpunkt 800.
Erdferne s. Apogäum.
Erdglobus s. Globus.
Erdnähe s. Perigäum.
Erdweite 639.
Evektion 823.
Excentricität der Ellipse 150.
Bestimmung der — der Planetenbahnen 165.
Änderung der — der Planetenbahnen durch Störungen 825, 856.
kleine — der Planetenbahnen 821, 848.
große — der Kometenbahnen 520.
Excentricität eines Kreises bei Meßinstrumenten 1001.
Elimination derselben 1002.
Excentrischer Kreis zur Erklärung der ersten Ungleichheit der Planeten 132.
Fehler dieser Erklärung 133.

Fackeln s. Sonnenfackeln.
Fadennetze s. Netze.
Fall freier 760.
Fall der Körper.
Beweis für die tägliche Bewegung der Erde 45, 774.
— auf der Oberfläche des Mondes, der Sonne und der Planeten s. diese Himmelskörper.
Berechnung des — auf den Himmelskörpern 793.
Falldauer für verschiedene Höhen 762.
Farben des Sonnenlichtes 241.
— komplementäre 241.
— der Fixsterne 635.
— der Doppelsterne 675, 683 ff.
Farbenabweichung 883.
Fernrohr
Bedeutung des — in der Astronomie 864.
Erfindung 875.
Einrichtung 876.
Galiläisches (Holländisches) 882.
Keplerisches 879, 882.
achromatisches 883.

Fernrohr
Dialitisches 885.
aplanatisches 883. 885.
gebrochenes 934.
größte existirende 885.
Vergleichung von Refraktoren und Reflektoren 891.
Leistungen alter — 880.
allmähliche Verbesserung der — 881.
Prüfungsmitel für — 689.
raumdurchdringende Kraft der — 689.
Anwendung vom — bei Meßinstrumenten 891.
Feuerkugel 596.
s. auch Sternschnuppen.
Finsternisse, Längenbestimmung durch — 498, 990.
Finsternisse des Mondes 179.
Erscheinungen bei — 180.
Berechnung der — 182.
totale — der nächsten Jahre 181.
Beweis für die Kugelgestalt der Erde 28.
Finsternisse der Sonne 184.
totale, ringförmige partielle — 186.
totale — der nächsten Jahre 188.
Erscheinungen bei totalen — 188.
Aberglauben über — 188.
Finsternisse der Satelliten Jupiters 495.
Fixsterne
Erkennung der — 216.
Namen einzelner — 219.
mittlerer und scheinbarer Ort der — 127.
Aberration der — 104.
Entfernung der — 102.
Parallaxe der — 102, 636, 643.
scheinbare Größe der — 632.
wahre Größe der — 644.
Einteilung der — nach Größenklassen 633.
relative Helligkeit — 633.
Wärmekraft der — 646.
säculare Lichtänderungen der — 635, 667.
Funkeln (Scintillieren) der — 195, 636.
Kataloge der — 76, 652.
drei- u. mehrfache Sterne 674.
Anzahl der — 652, 664.
Verteilung der — nach Größen 656.
Verbindung von — mit Nebelflecken 736 ff.
Gestalt und Ausdehnung unseres — Himmels 657.
Systeme 668.
Eigenbewegung der — 664.
spektroskopische Bestimmung der Eigenbewegung der — 667.
Änderung der Konstellationen durch Eigenbewegung der — 669.
veränderliche Eigenbewegungen der — 683, 684, 689, 694, 699.
Farben der — 635.
Farbenänderungen der — 636.
physikalische Beschaffenheit der — 650.
Spektrum der — 648.
Typen der — Spektra 648.
Fixsterne
Wahrnehmbarkeit der — im Fernrohre bei Tage 893, 904.
s. Doppelsterne, Milchstraße, Veränderliche, Sternschnuppen, Sternsysteme, Parallaxe.
Flächen, Prinzip der Erhaltung der 783.
Flecken s. Sonnenflecken.
Flugkraft 49.
Flut s. Ebbe.
Fraunhofersche Linien 243.
Frühlingspunkt 15, 16, 24, 67.
Funkeln der Sterne 195, 636.
Fußpunkt s. Nadir.

Gang einer Uhr 920.
Bestimmung des — 921.
Gegenfüßler s. Antipoden.
Gegenschein (des Zodiakallichtes) 202.
Geocentrischer Ort 154.
Geogonieen 844, 849.
Georgian satellites (Monde des Uranus) 507.
Gerade Aufsteigung s. Rektascension.
Geschwindigkeit, ursprüngliche der Planeten 788.
Zusammensetzung u. Zerlegung der — 111.
s. auch Bewegung.
Gesichtswinkel des Horizontes 29.
Gewicht der Körper 796.
Berechnung des — auf den Himmelskörpern 795.
— der Beobachtungen 1005.
Gleichung der Bahn 158.
jährliche — des Mondes 826.
parallaktische — des Mondes 827.
Globus 203.
Himmels — 203.
Erd- — 211.
Orientierung des — 205.
Verschiedene damit zu lösende Aufgaben 205 ff.
Gluckhenne s. Plejaden.
Gnomon 69, 866.
alte Beobachtungen mit dem — 71, 866.
Gradmessung 33.
Gravitation s. Schwere.
Griechen, alte Beobachtungen der — 33, 71.
Größe der Gestirne
Bestimmung der — 101.
— der Erde s. Erde.

Halbschatten (bei Finsternissen) 180.
Heliocentrischer Ort 154.
Heliometer 981.
Helium-Linie 287, 647.
Hemisphäre; sichtbare und unsichtbare 13.
— nördliche, östliche u. s. w. 12, 13.
Hemmung (bei Uhren) 925.
Herbstpunkt s. Äquinoktialpunkte.
Hesperus oder Abendstern 320.
Himmelsgewölbe, Gestalt vom scheinbaren 199.
Himmelsglobus s. Globus.

Hochmeer 812.
Höhe, größte von Menschen erreichte 31.
größte bewohnte 31.
Messung der — eines unzugänglichen Gegenstandes 95.
— größte der Wolken 191.
Höhe eines Sternes 14, 24.
— und Azimut mittelst Globus zu finden 208.
Höhen, korrespondierende Zeitbestimmung durch 908.
Rektascensions-Bestimmung durch — 910.
Höhenkreis s. Vertikal und Vertikalkreis.
Hof (der Sonnenflecken) 251.
Horizont, wahrer und scheinbarer 12.
Depression des — 29.
künstlicher — 898.
Horizontal 12.
Horoskop, Edles 209, 908.
Hyaden 671.
Hyperbel 786.
Wahrscheinlichkeit der — als Bahnform 789.

Inderfehler eines Kreises 947.
Bestimmung der — eines Meridiankreises 947.
Instrumente der Alten 21, 69.
Schwierigkeit der Verfertigung genauer — 864.
Intramerkurielle Planeten 298.
Apriorische Vermutungen über — 298.
vermeintliche Auffindungen — 299.
versuchte Bahnbestimmungen — 300, 303.
Nachweis des Irrtums in den Voraussetzungen 306.
Irradiation 200.
— bei Sternbedeckungen 464.
— bei Venusdurchgängen 337.
— bei Sonnenfinsternissen 338.
Jahr 64.
tropisches — 160, 455.
Veränderlichkeit des tropischen — 841.
siderisches — 131, 159, 455.
anomalistisches — 456.
platonisches — 120.
Jahreszeiten 83.
bei anderer Rotation und Achsenstellung 83.
Erklärung der — 25.
Änderung der — mit der Lage der Apsiden 166.
Änderung der — mit der Excentricität 843.
Darstellung der — durch Globus 211.
Janus, Name für Neptun 446.
Julium sidus (Komet 43 v. Chr.) 514.
Jupiter
Distanz, Revolution, Durchmesser, Zeichen u. s. w. 406.
Masse von — 407.
Flecken und Streifen des — 410.
Rotation und Abplattung — 412.
Atmosphäre und Konstitution — 413.
Refraktion in der Atmosphäre 415.
Spektroskopische Untersuchung 414.
Jupiter
Jahreszeiten und Klima 417.
Anblick des Himmels von — 418.
Bewohner 418.
Alter 808.
Große Störung durch Saturn 829.
säkulare Störungen der Bahn 841.
s. auch Satelliten.

Kapwolken 748.
Kardinalpunkte (des Horizontes) 13.
Karten s. Sternkarten.
Katoptrisches Fernrohr 888 s. Reflektor.
Kegelschnitte 784.
Keplersche Gesetze 145, 146, 150, 151, 784.
Keraunia 603.
Kernnebel 734.
Kernschatten (bei Finsternissen) 180.
Klimate der Alten 90.
Knoten der Bahnen 155.
Änderung der — 456, 831.
Knotenlinie 156.
Körper, Problem der drei — 778, 822.
Kollimationsfehler 897, 937.
Berichtigung vom — eines Fadennetzes 937.
— eines Spiegelsextanten 897.
Kollimationslinie 935.
Kollimator 940.
Koma (der Kometen) 511.
Kometen im allgemeinen
Anzahl der — 509.
Größe der — 514.
Masse und Dichte der — 517.
Gestalt der — 511.
Nebelhülle der Koma der — 511.
Kern der — 511.
Mehrfache Kerne der — 511.
Teilungen von — 536, 551, 574.
Schweif; mehrfache Schweife der — 511, 534, 580, 584, 586.
Entstehung, Ausbildung Veränderung u. s. w. des Schweifes der — 589.
Durchsichtigkeit der — 517.
Lichtzuckungen in den Schweifen der — 512.
Bedeckungen von Sternen durch — 517.
Vorübergänge von — vor der Sonne 517, 570.
Eigenlicht der — 516.
Schwankungen in der Helligkeit der — 537, 554.
Spektralanalyse des — Lichtes 516, 555, 576.
fächerartige Ausströmungen am Kerne der — 530.
pendelartige Bewegungen der Ausströmungen 531, 533.
Ursache derselben 532.
Typen der Schweifformen der — 589.
Neigung der Bahnen der — gegen die Ekliptik 509.
Berechnung der Bahnen der — 518.

Kometen
Gestalt der Bahnen der — 520.
Anfertigung des Modelles einer — Bahn 543.
Bestimmung der Umlaufszeit 521.
Extreme der Geschwindigkeit, Beleuchtung, Erwärmung u. s. w bei — 562, 563.
Lage der Bahnen der — gegen die Erdbahn 539.
Starke Annäherung von Bahnen von — an die Erdbahn 541, 549.
Möglicher Durchgang der Erde durch den Schweif eines — 587.
Was hat die Erde von — zu fürchten 541.
Störungen der — durch Planeten 521, 528, 547, 548, 550.
Anderweitige Störungen der — 535.
Ältere Meinungen von den — 588.
Natur der — 590.
Aberglauben über — 525, 526, 593.
— als glückverkündend betrachtet 556.
Einfluß der — auf Krankheiten, Witterung u. s. w. 593.
Bewohner der — 595.
Zusammenhang der — und Sternschnuppen 592, 618.
Stellung der — im Sonnensysteme 621.
— aufgefunden bei totalen Sonnenfinsternissen 284.
— von langer Sichtbarkeitsdauer 553.
Komet Halley
Umlaufszeit, Bahnverhältnisse, Bahnlage 523.
geschichtliche Notizen aus alter Zeit 524.
früheste sichere Erscheinungen 525.
Merkwürdiger scheinbarer Lauf bei einigen Erscheinungen 525, 526, 529.
Entdeckung der Periodizität 527.
Physische Erscheinungen beim Periheldurchgange 1835 530.
Komet 1862 III
Entdeckung 533.
äußeres Aussehen 533.
periodisch wiederkehrende Form und Helligkeitsänderungen 533.
Nebenschweife 534.
Zusammenhang mit dem Perseidenstrome der Sternschnuppen 534, 618.
Komet Encke
Wiederholte Entdeckung desselben 534.
Auffindung der Periodizität 534.
Annäherung an die Bahn von Merkur und die des Biela-Kometen 536, 540.
Bewegungsanomalien 535.
Komet Biela
Entdeckung und Bahnelemente 536.
Teilung des Kometen — 536.
Wechsel der Lichtstärke der Köpfe 537.
Abstand beider Kerne 537.
Duplizität anderer Kometen 538.
Verschwinden des — 539.
starke Annäherung der Bahn des — an die Erdbahn 541.
Komet Biela
starke Annäherung der Bahn des — an die des Kometen Encke 540.
Zusammenhang mit dem Meteorstrome der Bieliden 539, 630.
Komet Faye
Entdeckung 542
Elemente, Bahnlage, Größe u. s. w. 543.
Kometen 1844 I (de Vico) und 1894 IV (E. Swift)
Entdeckung im Jahre 1844, Elemente, Größe, Bahnlage u. s. w. 545.
Mutmaßliche Wiederauffindung 1894 547.
Änderungen des Aussehens und Störungen in der Zwischenzeit 547.
Vermutete Identität mit anderen Kometen 548.
Komet Brorsen
Entdeckung, Umlaufszeit u. s. w. 548.
Physische Erscheinungen des — nach dem Periheldurchgange 548.
Große Störungen und eventuelle Kollision mit einem anderen Kometen 548.
Lexellscher Komet (1770 I)
Entdeckung und große Annäherung an die Erde 549.
Ellipticität der Bahn 550.
große Doppelstörung durch Jupiter 550.
Komet 1889 V
Untersuchung seiner Identität mit dem Lexellschen Kometen 550.
Durchgang des — durch das Satellitensystem Jupiters 551.
Teilung des — 551.
lange Sichtbarkeit — 552.
Komet Holmes (1892 III)
Entdeckung, Umlaufszeit 553.
merkwürdiges physisches Verhalten 553.
Formänderungen und Helligkeitsschwankungen 554.
Spektrum des — 555.
Bahnverhältnisse 555.
Komet 1843 I
Erscheinung, Schweiflänge 556.
große Lichtentfaltung beim Periheldurchgange 556.
außerordentlich geringe Periheldistanz 557.
rasche Winkelbewegung im Perihel 558.
Identificierung mit früheren Kometen 559.
Unbestimmtheit, die dabei herrscht 561.
Extreme von Geschwindigkeit, Beleuchtung und Erwärmung 562.
Änderung der Bahnform mit geringen Variationen der Perihelgeschwindigkeit 564.
Durchgang des — durch die Koronalregion der Sonne 564.
Komet 1880 I
Erscheinung, Schweiflänge, Sichtbarkeitsdauer 565.

Komet 1880 I
Ähnlichkeit der Bahn mit der des Kometen 1843 I 566.
Untersuchungen über die Identität mit Komet 1843 I 566.
Komet 1882 II
große Helligkeit beim Periheldurchgange 569.
Ähnlichkeit der Bahn mit der von 1843 I 569.
Beobachtung des Vorüberganges des — vor der Sonne 570.
Veränderungen des — 571.
vielfache Hüllen um den Kopf des — 572.
Nebenschweife 571.
Teilungen des — 574.
Bahnen der Nebenkometen 575.
Spektralbeobachtungen des — 576.
Komet Donati (1858 VI)
Entdeckung, Bahnverhältnisse u. s. w. 578.
Entwickelung und Erscheinung — 578.
Ausströmungen und Hüllenbildungen 579 ff.
Schweiflängen 583.
Nebenschweife 580.
Komet (1861 II)
plötzliches Auftauchen auf der nördlichen Halbkugel 584.
Schweiflänge, rapide Veränderungen im Kopfe 585.
Nebenschweife 586.
Bahnverhältnisse, Umlaufszeit 586.
möglicher Durchgang der Erde durch den Schweif des — 587.
Komet Coggia (1874 III)
Entdeckung und Entwickelung des — 587.
merkwürdige Bildung des Kopfes des — 587.
Kompensation (der Uhren) 924.
Konjunktion 104.
obere und untere — 135.
Kraft
Zerlegung der Kräfte 111.
lebendige — 234.
Erhaltung der — 233.
momentane und kontinuierliche — 759.
konstante — 760.
Central — s. dort.
Kreis, größter der Kugel 8.
Einteilung des — nach Bogen und Zeit 8.
himmlische und irdische — 11.
Eigenschaften größter — 9.
Neigung zweier größter — 10.
Umfang und Oberfläche des — 32.
excentrischer — 132.
deferierender — 133.
Unwahrscheinlichkeit des — als Bahnform 789.
Kreismikrometer 980.
Krippe 672.
Kronodeik 911.
Kulmination 15, 20.
— zu finden mittelst Globus 207.
Kulminationshöhe 20.
Länge astographische 15, 16, 24.
— aus Rektascension und Deklination mit Globus zu finden 206.
geocentrische und heliocentrische — 154.
— in der Bahn 157.
reduzierte — oder — in der Ekliptik 157.
— des Knotens 155.
— des Perihels 158.
mittlere und wahre — 158.
Länge geographische 27, 990.
Bestimmung der
— durch den Telegraphen 994.
— durch Chronometer 995.
— durch Finsternisse 498, 990.
— durch Monddistanzen und Mondkulminationen 991.
— durch Sternschnuppen 990.
— durch Pulversignale 990.
Laurentiusstrom 625.
Leitstrahl s. Radius Vektor.
Leonidenstrom 627.
Libelle s. Wasserwage.
Libration des Merkur 314.
— des Mondes wahre und scheinbare 479, 839.
Licht
Messung der Geschwindigkeit des — 106.
Absorption des — in der Atmosphäre 198.
Vibrations- und Emanationshypothese 230.
Farben des — 241.
Wellenlängen und Schwingungsdauer verschiedener — Arten 238, 249, 250.
Polarisation des — 238.
Doppelte Brechung des — 240.
Brechung des — s. dort und Refraktion.
Reflexion des — s. dort.
s. auch Spektrum, Farben des —
Lichtgewölk s. Sonnenfackeln.
Lichtgleichung 115.
Lichtknoten (eines Nebels) 734.
Lichtzeit (als Distanzmaß) 640.
Limbus 944.
Linsen, Brechung des Lichtes durch — 877.
Log 997.
Lucifer s. Morgenstern.
Ludolphsche Zahl 51, 157.
Ludovicaea sidera (Saturnsmonde) 507.
Luftschiffahrt, größte bei — erreichte Höhe 31
Lumière cendrée (des Mondes) 460.
Luna fallax 458.
Lunas Borbonicas (Sonnenflecke) 289.
Lunation 458.
Lyriaden 624.
Magellanswolken 748.
Magier, Stern der 711.
Mars
scheinbare Bewegung 129.
Bedeckung des — durch Venus 330.
Nutzen den — der Astronomie geleistet 342.
Entfernung, Umlaufszeit, Größe, Zeichen u. s. w. 342.
Masse des — 343.

Mars
Rotation des — 344.
Tages- und Jahreszeiten auf Mars 344.
Flecken des — 346.
Polarkappen des — 347.
Kanäle des — 348.
Bergketten auf — 349.
Veränderungen auf der Oberfläche von — 350.
Verdoppelung der Kanäle von — 351.
Atmosphäre des — 355.
Spektraluntersuchungen des — 355.
Bewohner des — 356.
Nomenklatur der Flecke des — 347.
Masse überhaupt 50, 794.
— der Sonne 227.
— der Planeten s. diese.
— der Kometen 518.
— von Doppelsternen 684, 686 ff.
Massenbestimmung
— der Sonne 797.
— der Planeten mit Monden 343, 798
— der Doppelsterne 798.
— aus säkulären Störungen 841, 844.
— des Mondes aus Ebbe und Flut 816.
Mauerkreis 949.
Mauerquadrant 872.
s. auch Quadrant.
Mediceische Gestirne (Jupitermonde) 494.
Meridian 13.
Meridiangradmessung 33.
Meridiankreis 943.
Rektifikation des — 946.
Bestimmung des Zenith- u. Polpunktes 947, 948.
historische Notizen über den — 949.
Meridianzeichen 940.
Merkur, scheinbare Bewegung 128.
Name, Zeichen, Entfernung u. s. w. 309.
Sichtbarkeit 312.
Phasen 311.
Flecken und Rotation 313.
Libration 314.
Jahres- und Tageszeiten 315.
Atmosphäre 317.
Bewohner — 317.
Temperatur und Beleuchtung 316.
Spektroskopische Untersuchung — 317.
Vorübergänge vor der Sonne 318.
Säkularbewegung des Perihels von — 298, 308.
Satellit von — 308, 508.
Meteore s. Sternschnuppen.
Meteoreisen 600.
Meteoriten s. Aërolithen und Sternschnuppen.
Meteorring zwischen Merkur und Venus 309.
Meteorsteine 599.
Meteoroskop 616.
Mikrometer 975, 976.
Schrauben — 977.
Positions — 978.
Kreis — 980.
Okular — 981.
Objektiv — s. Heliometer.
Mikroskop
Bedeutung des — für Astronomie 864.
Erfindung des — 876.
Anwendung bei Meßinstrumenten 893.
Milchstraße
Beschreibung der — 661, 662, 725.
andere ähnliche Gebilde 725.
Miren 940.
Mittag s. Südpunkt.
Mittagslinie 13.
Konstruktion der — 902.
Mittagsrohr 932.
Rektifikation des — 935.
portatives — 934.
Gebrauch des — 940.
Mitternacht s. Nordpunkt.
Mittlere Bewegung der Planeten 158.
Mittlere Planeten 158.
Mittlere und scheinbare Position 127.
Molekularanziehung 759.
Monat
anomalistischer 456.
drakonitischer (Drachen) — 456, 832.
siderischer 455.
sonderbare Namen von — 328.
Mond der Erde.
Umlaufszeiten, Entfernung, Größe u. s. w. des — 455.
Masse, Dichte u. s. w. des — 473.
Phasen des — 456.
kleinste sichtbare Phasen des — 458.
Phasen der Erde für den — 458.
Aschgraues Licht des — 460.
Kulminationshöhe des Vollmondes im Winter und Sommer 460.
beste Zeit zur Beobachtung des — 472.
Rotationsdauer des — 461.
Ursache der gleichen Dauer von Rotation und Revolution 467.
Jahres- und Tageszeiten auf dem — 462.
Temperaturverhältnisse auf dem — 463.
Wärmestrahlung des — 463.
Atmosphäre und Wasser auf dem — 464.
Einflüsse des — auf die Erde 468.
Erleuchtung der Nächte der Erde nicht Zweck des — 467.
Anblick des Himmels vom — aus 465.
Anblick der Erde vom — aus 459.
Anblick des — von der Erde aus 471.
Nomenklatur der Mondflecke 327, 472.
Gebirgsketten, Rillen und Strahlensysteme des Mondes 471.
Höhe der Mondberge 472.
sog. Meere (mare) des — 475.
Ringgebirge des — 475.
Messung der Höhe der — Berge 476.
Geschichte der Topographie des — 478.
Librationen des — 479, 838.
Veränderungen auf der — Oberfläche 480.
Vermeintlich thätige — Vulkane 482.
Bewohner des — 482.

Mond der Erde
Betrachtungen über eine Reise in den — 468.
Verkehr mit den Seleniten 488.
Vermeintliche Bedeckung des — durch einen Kometen 518.
Finsternisse des — s. Finsternisse.
Fall des — gegen die Erde 772.
Berechnung der Schwere, Fallhöhe u. s. w. auf dem — 795.
Acceleration der mittleren Bewegung des — 803, 836.
— Hauptursache der Ebbe und Flut 813.
Bestimmung der — masse aus Ebbe u. Flut 816.
Evektion 823.
Variation 826.
jährliche Gleichung 826.
parallaktische Gleichung 827.
Bewegung der Knoten und Apsiden der — bahn 456, 832 ff; 837.
Säkuläre Aenderung der Rotation des — 838.
Darstellung der Mondbahn 833.
Alter des — 808.
Monddistanzen, Längenbestimmung durch 991.
Monde der oberen Planeten s. Satelliten.
künstliche — 782.
Mondfinsternisse s Finsternisse.
Morgen s. Ost.
Morgenstern (Venus) 320.
Morgensterne 129.
Morgenweite 207.

Nachtbogen 19.
Nachtgleichen s. Äquinoktial-Linien und Punkte.
Nadir 12.
Namen von
— Sternen 219 ff.
— Sonnenflecken 289.
— Marsflecken 347.
— Mondbergen 327, 472.
— Monaten 328.
— Satelliten 490, 494, 504, 506.
— Asteroiden s. Geschichte deren Entdeckung 360 ff.
— Planeten s. diese.
Naturmaß 34.
Nautische Astronomie, Wesen der — 995.
Nebelflecke s. Sterngruppen.
Neigung
der Planetenbahnen 154.
Zählweise der — bei Kometenbahnen 510.
Aenderung der — durch Störungen 857.
— klein bei Planetenbahnen 821, 848.
Neptun
Vermutungen über die Existenz von — 436.
Rechnungen und Elemente des — von Le Verrier 440.
Rechnungen und Elemente des — von Adams 447.
Auffindung und Benennung von — 446.
Entfernuug, Umlaufszeit u. s. w. 450.
Vergleichung der Elemente — mit den vorausberechneten 451.
Neptun
ältere Beobachtungen 450.
Spektrum 452.
Helligkeit 452.
Bewohner 453.
Mond des — s. Satelliten.
Netz Faden — 892.
Rektification der — 935.
— als Mikrometer 976.
Ebles, astronomisches 907.
Niedersteigender Knoten 155.
Nippfluth 816.
Niveau s. Wasserwage.
Nonius s. Vernier.
Nord 13, 24.
Nordpol 12, 24, 38.
Normalzeit 175.
Nutation 126
Bestimmung der — 942.
Ursache der — 793.

Objektiv 878.
Oktant (Instrument) 871.
Oktanten des Mondes 458.
Okular 878.
heliosкopisches 266.
gebrochenes 958.
Opposition 104.
Oskulierende Ellipse 829.
Ost oder Morgen 13, 24.

Parabel
Verwandtschaft mit Ellipse und Hyperbel 787.
Bahn der geworfenen Körper 781.
Unwahrscheinlichkeit der — als Bahnform 789.
Parallaktische Aufstellung 975.
— Maschine 966.
Parallaxe der Gestirne 93.
Horizontal — 96, 99.
Höhen — 96.
tägliche — 96, 104.
Bestimmung der Entfernung aus der — 101.
Bestimmung der — 97.
jährliche — der Planeten 104.
jährliche — der Fixsterne 102.
Geschichte der Entdeckung der — der Fixsterne 102, 636.
Gemessene — von Fixsternen 643.
Bahnbewegung der Fixsterne wegen — 105.
Parallaxe der Sonne s. Sonnenparallaxe.
Parallelkreise 18.
Parallelogramm der Kräfte 111.
Passageninstrument
— im Ersten Vertikal 942.
s. auch Mittagsrohr.
Passagenprisma 905.
Passatwinde 47.
Pendel, Erklärung 55.
Sekundenpendel 56.
Messung der Schwere durchs — 55.
Foucaults — Versuch 58.

Pendel als Regulator für Uhren 924.
Centrifugal — 965.
Penumbra der Sonnenflecken 251, 254.
Periastrum 680.
Perigäum oder Erdnähe 144.
Perihelbistanz 150.
Perihelium oder Sonnennähe 145.
Perseiden 625.
Perser, Astronomie der — 125.
Perturbationen s. Störungen.
Phasen des Mondes 456.
der Planeten 311, 322, 349.
der Kometen 516.
Phosphorus oder Morgenstern 320.
Photosphäre der Sonne 285.
Planeten oder Wandelsterne
scheinbare Bewegung der — 128.
Veränderlichkeit der scheinbaren Durchmesser und Geschwindigkeiten der — 133.
graphische Darstellung der Bewegung der — 130.
Ort der — zwischen den Sternen mit Globus zu finden 206.
Durchgang durch die Ekliptik 160.
siderische, synodische, tropische Umlaufszeit s. Revolution.
heliocentrischer und geocentrischer Ort 154.
Epoche und mittlere Bewegung 158.
Neigung und Knoten 155.
Länge in der Bahn und in der Ekliptik 156.
Breite und Argument der Breite 157.
Distanzen von der Sonne 160.
Umlaufszeiten 159 ff.
Bahnelemente der — 158.
Bahnbestimmung der — 160 ff., 361, 437.
Korrektion der Bahnelemente — 1004, 1005.
mittlere und wahre — 158.
Gleichung der Bahn und Radius Vektor 158.
mittlere Anomalie und Länge 158.
obere und untere — 128, 342.
innere und äußere — 409.
Reihe der Entfernungen von der Sonne 358.
kleine — s. Asteroiden.
intramerkurielle — 298.
transuranischer — s. Neptun.
transneptunischer — 452.
Aberration der — 115.
kugelförmige Gestalt der — 29, 799.
Albedo, Abplattung, Masse, Bewohner der — s. diese Planeten.
Alter der — 807.
ursprünglicher Stoß auf — 81, 787.
ursprüngliche Geschwindigkeit — 788.
gemeinsame Eigenschaften der — unseres Systems 847.
s. auch Ungleichheiten der Bewegung.
Planetensystem
Ptolemäisches — 135.
Ägyptisches — 136.
Kopernikanisches 139.
Vorzüge dieses Systems 141.
Planetensystem.
Unvollkommenheit desselben 143.
Tychonisches — 142.
Keplerisches — 143 ff.
besondere Eigenschaften unseres — 847.
Ursprung des — 845, 849.
Dauer des — 853.
Planetentafeln
Einrichtung der — 159.
Alter der indischen — 125, 831.
Planetentheorie
Grundsätze der — bei den Alten 131.
Planetoiden, Name für Asteroiden 362.
Platonisches Jahr 120.
Plejaden 668, 671.
Pol eines Kugelkreises 9.
s. auch Weltpol, Nordpol, Südpol.
Polarisation des Lichtes 238.
— des Lichtes durch Reflexion 241.
— des Kometenlichtes 516.
— des Zodiakallichtes 202.
Polarkreise 18.
Polarsterne für verschiedene Epochen 119.
Poldistanz 14, 24.
Polhöhe oder geographische Breite 17, 24.
durch Deklination und Zenitdistanz gegeben 20.
Bestimmung der — durch Beobachtungen im Meridian 899.
— im ersten Vertikal 942.
— zur Zeit der Solstitien 69.
Poren der Sonne 252.
Positionswinkel 678.
Präzession
Erscheinung der — 116.
Entdeckung der — 116.
Einfluß der — auf den scheinbaren Ort der Sterne 117 ff.
— auf den Anblick des Himmels 117.
— auf die Zeichen des Tierkreises 120.
Polarsterne für verschiedene Epochen 119.
Anwendung — auf Chronologie 122.
Tafeln der — 222.
Einfluß der — auf die Länge des Jahres 842.
Ursache der Präzession 792.
— ändert nur die Lage der Erdachse am Himmel 127.
Prokyon,
Veränderliche Eigenbewegung 699.
Protuberanzen 280.
Spektrum der — 282, 287.
Spektralbeobachtungen der — 284.
Klassen der — 285.
Veränderungen der — 286.
Größe der — 285 ff., 564.
Zusammenhang der — mit den Fackeln und Flecken 288.
Pulkowa Sternwarte — 1008.
Pulversignale, Längenbestimmungen durch — 990.

Quadrant, Instrument, 21, 896.
Bestimmung von Polhöhe und Deklination mit — 22.
Zeitbestimmung mit — 902
Distanzbestimmung mit — 870.
— mit zwei Fernrohren 870.
Mauer — 873.
Mängel des Mauer — 875.
Quadrate, Methode der kleinsten —1004.
Quadratur 104, 457.
Quecksilberhorizont 898.

Radius Vektor oder Leitstrahl 150.
Rechtläufige Bewegung 128.
Reflektoren 883, 888.
Cassegrainische — 888.
Gregorische — 888.
Newtonsche — 888.
Herschelsche — 889.
Brachhyten 888.
Vergleichung von — und Refraktoren 891.
Reflexion
des Lichtes in der Atmosphäre 196.
Polarisation des Lichtes durch — 241.
Refraktion in der Atmosphäre 191.
Bestimmung ihrer Größe 192.
Gesetze der — 194.
Horizontal — 194.
verlängert unsere Tage 194.
andere Einflüsse der — 194.
— in hohen Breiten 194.
terrestrische Refraktion 195.
— in der Atmosphäre Jupiters 415.
s. auch Brechung.
Refraktoren 883, s. auch Fernrohr.
Regulator 924.
Reiterlein oder Alkor 220, 222, 672.
Rektascension oder gerade Aufsteigung 15, 24.
Bestimmung der — 23, 73, 910, 940.
— aus Länge und Breite zu finden 207.
Rektifikation eines Instrumentes 896.
— eines Fadennetzes 935.
Retrograde Bewegung der Planeten 128.
— der Kometen 510.
Revolutionen der Planeten
synodische — 131, 161.
siderische — 131, 159, 455.
tropische — 160, 455.
anomalistische — (des Mondes) 456, 832.
drakonitische — (des Mondes) 456, 832.
Bestimmung der — 159 ff.
Vorteile sehr alter Beobachtungen 162.
— aller Planeten erfolgen in derselben Richtung 848.
— sind incommensurabel 855.
siderische — sind unveränderlich 854, 855.
Rillen (des Mondes) 474.
Ringsystem Saturns.
Wie das — den früheren Beobachtern erschien 421.
Entdeckung des — 422.
Ringsystem Saturns.
Beschreibung des — 423.
Excentricität — 424.
Lage und verschiedene scheinbare Gestalten des — 424.
Ursachen des Verschwindens des — für die Erde 425.
Rotation und physische Beschaffenheit des — 427.
Spektrum des — 424.
Dimensionen des — 429.
Anblick Saturns vom — aus 432.
Ringgebirge (des Mondes) 475.
Ringnebel 737.
Rose des Globus 204.
— der Bussole 996.
Rotation der Erde 39, 42.
— der Sonne und Planeten s. diese.
Mittelpunkt der freien — 790.
freie Achse der — 791.
Abplattung durch — 799.
Säkulare Änderung der — des Mondes 838.
Rotationsachse
Stabilität der — der Planeten 792, 800.
Rotationsdauer
Unveränderlichkeit der — der Erde 802.
Einfluß der Temperaturabnahme auf die — 806.
Rückläufig s. retrograd

Saros 187.
Satellit der Erde s. Mond.
Satelliten des Mars.
Entdeckung, Namen u. s. w. 486.
Größe und Bewegungsverhältnisse 491.
Anwendung zur Bestimmung der Masse des Mars 343, 493.
Satelliten Jupiters
Entdeckung der vier alten 493.
lehrten uns die Geschwindigkeit des Lichtes 494.
Bestimmung der Entfernung Jupiters von der Sonne durch die — 498.
Längenbestimmungen durch die — 494, 498.
— bestätigen das Kopernikanische System 494.
frühere Namen der — 494.
Sichtbarkeit der — mit freiem Auge 494.
Anblick des Himmels von den — 503.
Wie die — Jupiter erscheinen 500.
Helligkeit der — 494.
Abedo der — 500.
Größe der — 499.
Rotationsdauer der — 501.
Verhältnisse zwischen den Bewegungen der — 497.
Gleichzeitige Unsichtbarkeit der — 498.
Vorübergänge der — vor der Jupiterscheibe 495.
Erscheinungen dabei 497, 500.
Verfinsterungen der — durch Jupiter 495.
Entdeckung des 5. Jupitermondes 502.
Größe und Bahnverhältnisse desselben 502.
Eventuelles Vorhandensein weiterer — 503.

Satelliten Saturns.
Entdeckung, Umlaufszeiten u. s. w. 503.
Namen 504.
Veränderlichkeit von Japetus 504.
Helligkeit der — 505.
Vorübergänge Titans vor der Saturnscheibe 505.
Verhältnisse zwischen den Bewegungen — 505.
Satelliten von Uranus.
Entdeckung, Namen u. s. w. 506.
Bahnlage, Bewegungsverhältnisse 507.
Satellit Neptuns.
Entdeckung, Bewegungsverhältnisse des — u. s. w. 507.
Eventuelles Vorhandensein eines zweiten — 507.
Sichtbarkeit der Uranus und Neptuns — 507.
Satellit, vermeintlicher von Venus 327, 508.
eventueller von Merkur und Venus 508.
vermeintliche der Sonne 289.
Satelliten, dunkele der Fixsterne
s. Doppel — und veränderliche Sterne.
Saturn, Entfernung, Revolution u. s. w. 418.
Größe 419, 430.
Masse, Dichte 419.
Atmosphäre und Streifen 419.
Rotation und Abplattung 420.
Ältere Meinungen über seine Gestalt 421.
Helligkeit — 424.
Spektraluntersuchungen 424.
Anblick des Himmels von — aus 431.
Bewohner — 433.
Alter des — 808.
große Störung zwischen Jupiter und — 829.
säculare Störungen der Bahn des — 841.
Ring des — s. Ring.
Monde des — s. Satelliten.
Schattenflüge bei totalen Finsternissen 189.
Schattenwurf der Erdbewohner in verschiedenen Zonen 89.
Scheitel der Kegelschnitte 150, 784.
Scheitelpunkt s. Zenit.
Schneegrenze 91.
Schwere (allgemeine) 51, 759.
Verschiedenheit der — auf der Erde 51.
Mittel, die — zu messen 55.
Wirkung der — auf den Gang der Uhren 58.
Geschichte der Entdeckung der — 763, 775.
Gesetz der Wirkung der — 768.
nähere Bestimmung desselben 793.
Wirkung der — auf ruhende und bewegte Körper 770.
Ausdehnung des Gesetzes der — 679, 780.
Modifikation des Gesetzes der — 309.
Schwingungsebene.
Ablenkung der — eines Pendels durch die Rotation der Erde 58.
Schwungkraft s. Flugkraft.
Scintillieren der Sterne 195, 636.
Sextant.
Hadleys Spiegel — 894.
Rektifikation des — 896.
Gebrauch des — 897, 998.
Sirius.
veränderliche Eigenbewegung 695.
Entdeckung des Akolyten 697.
Siriusweite 659.
Solstitial- oder Wendepunkte oder Tropen 16, 68.
Sommer-Sonnenwende 16, 68.
Sonne.
jährliche scheinbare Bewegung der — 64.
erklärt durch die Bewegung der Erde 65.
Ort der — am Himmel mit Globus zu finden 206, 212.
mittlere und wahre — 171.
Reflexion der Strahlen der — in der Atmosphäre 196.
Finsternisse der — 184.
Erscheinungen bei totalen Finsternissen der — 188, 279.
Aberglauben bei Finsternissen der — 188.
die — Ursache von Licht und Wärme 227.
Masse, Größe, Dichte u. s. w. der — 227.
Fall der Körper auf der Oberfläche der — 229.
teleskopisches Aussehen der — 251.
Veränderlichkeit des Durchmessers der — 272.
Atmosphäre der — 276.
Photosphäre und Chromosphäre — 285.
Corona und Protuberanzen 279.
Rotation der — 260, 264, 276.
indirekte Bestimmung von deren Dauer 273.
Wärmestrahlung verschiedener Teile der — Oberfläche 277.
Gesamtstrahlung der — 278.
Leuchtkraft und Temperatur der — 291.
Strahlung der — 292.
Erhaltung der Wärme der — 292.
Quellen der Wärme der — 294.
Konstitution der — 289.
Größe der — in Größenklassen der Sterne 645.
Lichtstärke der — gegen Sterne 645.
scheinbare Größe der — in der Entfernung der Sterne 646.
Bewegungen der — 669.
Richtung der — Bewegung 670.
Bestimmung der Masse der — 797.
Wirkung der — auf die Temperatur der Erde 807.
— bewirkt teilweise Ebbe und Flut 815.
Sonnenfackeln oder Lichtgewölk 251.
Struktur der — 275.
Zusammenhang der — mit den Flecken 275.
Sonnenflecken.
Beschreibung 251.
Größe und Veränderlichkeit 252.
Struktur und Farbe 254.
Periodicität der — 255.
Zone der — 258.
Gesetze ihrer Bildung 259.
Eigenbewegung der — 262.
Wärmestrahlung der — 279.
Helligkeit der — 277.
Gleichheit der Periode der — mit den magnetischen Variationen 270.

Sonnenflecken.
Zusammenhang der — mit anderen Erscheinungen 268 ff.
Sichtbarkeit der — mit freiem Auge 253.
Mittel die Rotation der Sonne zu finden 260.
Entdeckung der — 265.
Spektrum der — 289.
Zusammenhang der — mit den Protuberanzen 288.
Natur der — 290.
s. auch Protuberanzen, Sonnenparallaxe.
Sonnenbahn s. Ekliptik.
Sonnenferne s. Aphelium.
Sonnenfinsternisse s. Sonne, Finsternisse.
Sonnenflocken 201.
Sonnengläser 266.
Sonnenkonstante 292.
Sonnennähe s. Perihelium.
Sonnenokulare 267.
Sonnenparallaxe.
Versuche sie zu bestimmen 332.
Methode der Venusdurchgänge 334, 338.
Bestimmung der — aus Mondstörungen 340, 827.
Bestimmung der — aus Planetenstörungen 340.
— aus Oppositionsbeobachtungen des Mars und der Asteroiden 340, 341.
— aus Beobachtungen von Sternbedeckungen durch Venus 341.
— aus Lichtgeschwindigkeit 341.
Sonnentag 23, 170.
Sonnenuhren 175, 912.
einfachster Art 913.
Horizontal — 914.
Äquatorial — 917.
— für jede Fläche 919.
— die mittlere Zeit geben 175.
kolossale indische — 918.
Sonnenwende s. Solstitium.
Sonnenzeit 15.
wahre 15.
mittlere 171.
Spektralanalyse 245, 648.
Spektrum 242.
Anzahl der Farben im — 241.
ultraviolettes (chemisches) — 248.
infrarotes — 250.
— der Planeten 317, 324, 355, 414, 424, 435, 452.
— der Kometen 516, 555, 576.
— der Sternschnuppen 608.
— der Fixsterne 648.
variables — von Fixsternen 702.
— der Nebelflecke 756.
— des Zodiakallichtes 202.
Sphärische Abweichung 882.
Spiegel-Sextant s. Sextant.
Spiegel-Teleskope s. Reflektoren.
Springflut 815.
Stand (einer Uhr) 920.
Star drift 668.
Stationär 128.
Sternbedeckungen, Längenbestimmung durch — 991.
Sternbilder, Namen der — 216.
— zu erkennen 216.
Sterne, Namen der — 219.
neue, zeitliche wieder verschwundene — 705, 710, ff. 722.
s. auch Veränderliche.
Sterneichungen 660.
Sterngruppen und Nebelmassen.
Sternreiche Gegenden des Himmels 671.
— mit zahlreichen Veränderlichen 753.
Einteilung der — 727.
Verzeichnisse der — 726.
Verteilung der — 727.
mit freiem Auge sichtbare — 728, 730.
teleskopische — 728.
Größe und Entfernung der — vorzüglichste — 729.
— mit farbigen Sternen im Innern 731.
— mit Doppelsternen im Innern 731.
— mit spiraliger Anordnung 732.
weit verbreitete und unregelmäßige Nebelmassen 733.
Lichtknoten der Nebel 734.
Kernnebel 734.
Nebel von regelmäßiger Gestalt 735.
Doppelnebel 735.
planetarische Nebel 736.
Färbung der planetarischen Nebel 737.
Sternnebel 739.
Sterne mit Nebelstrahlen 741.
ringförmige Nebel 737.
Spiralnebel 742.
Horseshoe nebula 744.
Trifid nebula 750.
Dumbbell nebula 744, 756.
Crab nebula 743.
großer Andromeda-Nebel 745.
großer Orion-Nebel 746.
Nebel des südlichen Himmels 747.
Kapwolken 748.
Argo-Nebel 748, 756.
Eigenbewegung der Nebel 749.
Veränderlichkeit der Nebel 751 ff.
Spektrum der — 745, 747, 755.
Natur der Nebel 754.
Sternkarten 214.
Erkennen der Sterne durch — 216.
Gebrauch der — 215.
— für Meteorbeobachtungen 616.
— der Ekliptik 364.
— der Äquinoktial-Regionen 371.
allgemeine — 654.
Sternkataloge 76, 652.
Sternschnuppen.
Ansichten über die — 596.
vermeintliche Reste der — 608.
Beobachtungsarten der — 616.
scheinbare Größe der — 596.
Bahn, Dauer der — 596.
Schweife der — 597.

Sternschnuppen.
Farbe der — 598.
Kometenartige Meteore 598.
gruppenweises Vorkommen von — 602.
Ursache des Glühens der — 294.
Höhe und Masse der — 605
Spektrum der — 608.
stündliche Häufigkeit der — 609.
Variation in der täglichen und jährlichen Frequenz der — 610.
periodische und sporadische — 613.
Entstehung der Meteorringe 617, 620.
Laurentius (Perseiden) Strom 592, 618, 625.
Lyriaden Strom 620, 624.
Leoniden Strom 619, 627.
Bieliden Strom 620, 630.
Stellung der — im Sonnensystem 621, 623.
Längenbestimmung durch — 991.
s. auch Aërolithen, Meteorsteine, Meteoreisen, Feuerkugeln.
Sternschwanken 201.
Sternsysteme 668.
Sterntag 23, 170.
unveränderliche Dauer des — 802.
Sternverzeichnisse s. Sternkataloge.
Sternwarten.
Erfordernisse für eine — 1006.
— zu Greenwich 1006.
— zu Pulkowa 1008.
— zu Wien 1012.
— zu Nizza 1017.
Sternweite 639.
Sternzeit 23, 24, 169.
Bestimmung der — 23.
— und Sonnenzeit 172.
Gebrauch der — 173.
— mittelst Globus zu finden 208.
s. auch Zeitbestimmung.
Störungen
allgemeine Übersicht der — 818.
Erleichterungen bei der Berechnung der — 818.
periodische — 823, 828.
säculare — 823, 828, 831, 841.
specielle — 829.
Bestimmung der Sonnenparallaxe und der Erdabplattung aus — 827.
Bestimmung der Massen aus — 841, 844.
Einfluß der — auf die Jahreszeiten 843.
Einfluß der — auf die Dauer des Sonnensystemes 854.
große — zwischen Jupiter und Saturn 829.
Strahlenbrechung s. Refraktion.
Stundenkreis s. Deklinationskreis.
Stundenwinkel 14, 24.
— gegeben durch Rektascension und Sternzeit 23.
Stundenzeiger Eble's 908.
Südpol 12, 38.
Südpunkt oder Mittag 13, 24.
Syzigien 104.

Tägliche Bewegung s. Erde.
Täuschungen, optische 199.
Tag, längsten und kürzesten zu finden 214.
unveränderliche Länge des — 802.
Einfluß der Temperatur des Erdkörpers auf die Länge des — 806.
Tagbogen 19.
Tangentialkraft 783.
Teleskop s. Fernrohr, Reflektor.
Temperatur verschiedener Erdzonen 88, 90.
mittlere — eines Erdortes 92.
— des Weltraumes 808.
— der Erde 806.
Zunahme der — mit der Tiefe 804.
Unveränderlichkeit der — Erde 805.
Tentyris, Tierkreis 122.
Teilungsfehler 865, 1001.
Theodolit 957.
Ursprung des Namens 958.
Rektifikation des — 958.
Tiefe, größte erreichte auf der Erde 193.
Tierkreis oder Zodiakus 120.
Verrücken der Zeichen des — 120.
Alter des — 120.
aus dem Altertum erhaltene — 122.
Tierkreislicht s. Zodiakallicht.
Totalflut 814.
Trabanten s. Satelliten und Mond.
Transneptunische Planeten. Sind — vorhanden 453.
Transuranischer Planet s. Neptun.
Transversalen 986.
Trapez des Orionnebels 746.
Triebwerke bei Äquatorialen 964.
Triquetrum 868.
Tropen s. Solstitialpunkte.
Tychonischer Stern (B Kassiopeja) 710.

Uhren.
Einfluß der Schwere auf den Gang der — 58.
Arten von — 920, 923.
Einrichtung der — 923.
Kennzeichen einer guten — 922.
Regulierung von — auf verschied. Zeitarten 175.
— als Treibwerke 964.
s. auch Stand, Gang, Sonnenuhren.
Umlaufszeit s. Revolution.
Umschattig 90.
Undulations- s. Vibrationshypothese.
Ungleichheiten der Planetenbewegung
erste — 130.
zweite — 131.
Universalinstrument 953.
Rektifikation des — 955.
Universalstativ 971.
Unruhe 924.
Untergang s. Aufgang.
Uranus.
Entfernung und Revolution 433.
Größe und Helligkeit 433.
Entdeckung, Name, Zeichen 433.
Ältere Beobachtungen von — 434.
Masse 434.
Rotation und Abplattung 434.

Uranus.
Spektrum 435.
Tages- und Jahreszeiten 435.
Bewohner 436.
Anomalien seiner Bewegung 436.
Untersuchung derselben 437, 440.
Satelliten des — s. Satelliten.

Variation 826.
Venus.
scheinbare Bewegung 129.
Name, Zeichen, Helligkeit 320.
Entfernung und Revolution 321.
Durchmesser, Lichtphasen 321, 322.
hellster Glanz 322.
Sichtbarkeit der dunkelen Seite 323.
Flecken und Atmosphäre 323.
Polarisation des Lichtes der — 324.
Spektrum der — 324.
Berge der — 324
Rotation der — 325.
Tages- und Jahreszeiten auf — 326.
Mond der — 327, 508.
Vorübergang der — vor Mars 330.
Durchgänge der — vor der Sonnenscheibe s. Durchgänge.
Veränderliche Sterne 704.
Bezeichnung 707.
Farbe 705.
gruppenweises Vorkommen 705.
Verbindung von — mit Sternhaufen 706, 715, 716, 738, 753.
Verzeichnis von — 708.
Näheres über einige — 710 ff.
Natur der — 723.
Spektrum der — 700, 705, 711, 713 ff.
Veränderliche Sternhaufen 753.
Veränderlichkeit der Körper durch Temperatur, Druck und Schwere 865, 868.
Verfinsterungen s. Finsternisse.
Vergrößerung
scheinbare der Gestirne im Horizonte 199.
eines Fernrohres 880.
Vernier 987.
Vertikal- oder Höhenkreis 13, 24.
Erster — 901.
Zeitbestimmung im Ersten — 901.
Breitenbestimmung im Ersten — 942.
Vertikalkreis (Instrument) 958.
Vesperugo 320.
Vibrations- oder Undulationshypothese 231.
Vorübergänge vermeintlicher intramerkurieller Planeten vor der Sonne 300 ff.
Vorübergänge von Kometen vor der Sonne 517.
— eines Kometen vor dem Monde 518.
s. auch Durchgänge.
Vorrücken der Nachtgleichen s. Präzession.
Vulkan, Name des hypothetischen intramerkuriellen Planeten 302.

Wärme, Äquivalent der — 234.
Wahrscheinlichkeits-Rechnung.
Anwendung der — in der Astronomie 1004.
Wandelsterne s. Planeten.
Wanken der Erdachse s. Nutation.
Wasserwage 929.
Rektifikation der — 930.
Bestimmung des Wertes eines Teilstriches der — 932.
Weltachse 12.
Weltpol 12.
Weltsystem, Ursprung 844, 849.
besondere Eigenschaften des — 847.
Dauer des — 853.
Wendekreise 18.
Wendepunkte s. Solstitialpunkte.
West oder Abend 13, 24.
Widerstehendes Mittel.
Bewegung im — 535.
Widmannstättensche Figuren 600.
Wien, Sternwarte in — 1012.
Winter-Sonnenwende 16, 68.

Zeichen.
Einteilung des Kreises nach — 16.
— der Planeten s. diese.
— des Tierkreises 16.
Verschiebung der — des Tierkreises 120.
Zeit.
im Gegensatze von Bogen 9.
Definition der — 169.
— mittlere 171.
— wahre 15, 170.
Stern — 23.
Einführung der mittleren Zeit 175.
Verwandlung derselben in wahre und Sternzeit 172, 208.
Zonen — oder Normal — 175.
Zeitbestimmung
Wesen der — 920.
— mittelst Globus 208.
ältere Methoden der — 900.
— mittelst Höhenbeobachtungen am Sextanten 901.
— mit Gnomon 902.
— durch korrespondierende Höhen 908.
Eble's Zeitbestimmungswerk 907.
— durch Dipleidoskop und Passagenprisma 904.
— mittelst des Kronodeick 911.
— durch den Schattenwurf einer Schnur 903.
— durch Fixsternverschwindungen 903.
— durch das Mittagsrohr (Passageninstrument) 941.
Zeitgleichung 171.
Zenareiden, Name für die Asteroiden 362.
Zenith 12, 24.
— punkt eines Instrumentes zu finden 947.
Zenithdistanz 14, 24.
Zenithsektor 949.
Zodiakallicht 202.
Zodiakus s. Tierkreis.
Zonen der Erde 88.
Zonenzeit 175.
Zweischattig 89.

B. Namenregister.

Abd-al-Rahman al Sufi 636, 652, 745, 748.
Abbé 887.
Abney 250, 284.
Abul Wefa 826.
Adalbert, Prinz von Preußen 201.
Adams, J. C. 447 ff., 628, 777, 803.
Airy, Sir G. 340, 408, 439, 447 ff., 464, 671, 810, 827.
Aitken 297.
Albufaradge 253.
Albumazar 723.
Alhazen 195, 197, 198.
Almamun 33.
Alphons X. von Kastilien 138.
Amerigo Vespucci 991.
Amici 896.
Anaximenes 912.
Anderson 708, 713.
Angström 247.
Anthelme 709.
Apian (Bienewitz) 266, 511, 526.
Arago 190, 195, 269, 446 ff., 465, 494, 516, 891.
Argelander 440, 633, 652, 653, 670, 707, 711, 712, 719.
Aristarch 138, 332.
Aristoteles 199, 514, 588.
Aristyllus 120, 664.
Arnold 999.
v. Asten 535, 578.
Auwers 272, 642, 681, 697 ff., 703, 713, 726, 752.
Auzout 893, 910.
Averroes 253.

Backhuyzen 344, 721.
Backlund 536.
Bacon, F. 233.
Baile 811.
Baily, F. 811, 875, 1018.
Ball 642, 644.
Barker 717.
Barneby 501.
Barlow 885
Barnard 397, 399, 414, 420, 423, 429, 500 ff., 551, 553, 574, 734, 751, 752.
Barendell 468, 505, 708, 709, 715, 718, 720.
Bayer 652.
Beaumont, E. de 370.
Becquerel 250.
Beer s. Mädler und Beer.
Behaim 998.
Belopolsky 275, 412, 667, 701.
Benko, J. Freiherr v. 62.
Benzenberg 46, 606.
Berberich 382, 383, 394, 397.
Berget 810.
Bergmann 331.
Berkowsky 284,
Bermann 633.
Bernoulli, D. 817.
Bernoulli, N. 1004.
Bertoud 999.
Bessel 35, 49, 103, 364, 408, 424, 430, 431, 439, 530, 535, 606, 638, 641, 653, 694 ff., 942, 943.
Bianchini 325, 333, 867, 881
Bieberstein 846.
Biela, A. 1016.
Biela, W. 536, 1018.
Bienewitz s. Apian.
Bigelow 275.
Bigourdan 392, 727.
Biot, E. 511, 610, 722.
Biot, J. B. 605.
Bird 874.
Birmingham 254, 709, 717, 721.
Bischof 671.
Birt 708.
Bläu, (Janson) 709, 721.
Blair 885.
Bloxam 904.
Bode 358, 359, 434, 735.
Böhm 258, 262.
Boguslawsky, H. L. v. 560, 627, 753.
Bohnenberger 792.
Bompas 611, 623.
Bond, G. P. und W. C. 422, 423, 427, 429, 430, 451, 504, 585, 645, 708, 745, 746, 966.
Bonpland 613.
Borelli 764.
Borelly 374, 375, 392.
Boß 577.
Bouguer 35, 276, 291, 633, 810, 868, 981.
Boulliaud 712, 764.
Bouvard, A. 407, 437.
Bouvard, E. 439.
Bowring 556.
Boys 279, 811.
Bradley, J. 72, 103, 104, 126, 175, 638. 653, 685. 687.
Brandes 606, 609 ff., 630.
Bredechin 534, 552, 575, 589.
Breguet 110.
Breithaupt 955.
Brenner, J. 467.
Brett 355.
Brewster 246, 885
Brisbane 716.
Brooks 550, 575.
Brorsen 202, 548,
Broun 274.
Browning 410, 482, 888.
Bruce Miß 390.
Bruderer 537.
Brüloff 1008.
Brünnow 523, 546, 548, 682.
Bruhns 281, 374, 548.
Bruno 267.
Brunowsky 719.
Bürg 827.
Buffham 434, 891.
Buffon 846.
Bunsen 246.
Burchell 708, 716.
Burckhardt 453, 529 827.
Burnham 674, 675, 681 ff., 691, 704, 751, 752.
Buys-Ballot 273.

Calandrelli 638.
Callandreau 522.
Calvisius 525.
Campani 410, 423.
Campbell 350, 355, 714.
Capel Lofft 301.
Cardanus 711.
Carl 259.
Carlini 273, 810.
Carrington 258, 262, 272, 276, 302, 1018.
Cartesius s. Descartes.
Cassegrain 888.
Cassini, Dom. 34, 325, 327, 332, 344, 354, 410 ff., 422, 478, 499, 504, 637, 720, 721.
Cassini, Jak. 34, 423, 665, 702.
Cavalleri 817.
Cavendish 811.
Celoria 681.
Ceraski 708, 710, 712.
Cesaris 867.
Chacornac 276, 277, 368, 369, 371, 372, 505, 705, 708, 709, 713, 737, 752, 753.
Challis 447 ff., 451, 537.
Champillon 122.
Chandler 550, 707 ff., 713, 717, 719, 911.
Chapotot 930.
Charlois 371, 382 ff., 391, 392, 396.
Charnières 982.

Cheſter (von Moorhall) 883.
Childrey 203.
Chladni 605, 711.
Cicero 356, 593.
Clairaut 34, 528, 827, 832, 884.
Clark, A. 697, 884, 886.
Clark, A. jun. 885, 886.
Clarke 645.
Clarke, A. R. 810.
Clarke, W. B. 556.
Clauſen, 523, 560.
Coggia 374, 375, 587.
Coit 686.
Common 570, 753.
Comſtock 375.
Condamine 34.
Cook 336.
Cooke 884, 886.
Copeland 566, 722.
Copernikus, ſ. Kopernikus.
Cornu 110, 249, 287, 721, 811.
Corrigan 554.
Cottenot 378.
Coulvier-Gravier 609, 610.
Coumbary 302.
Courbebaiſſe 717.
Courty 392.
Coxwell 31.
Crabtree 331.
Crew 265.
Croll 808.
Crova 291, 293.
Cruls 270, 278.
Curtius 893.
Cuſa, Nik. v. 290.
Cyſatus 539, 746.

D'Alembert 822, 827, 832, 884.
Damoiſeau 529, 827.
Dana, J. 476.
D'Angos 301.
Dante 118.
Danti 867.
D'Arreſt 373, 488, 498, 506, 507, 523, 537, 548 630, 648, 711, 727, 752, 753.
Darwin 465.
Davis 686, 708.
Dawes 255, 263, 267, 347, 348, 411, 423, 498, 505, 683 ff., 703, 891, 1018.
De Ball 671.
Decuppis 301, 465.
De Gasparis ſ. Gasparis.
Delambre 34, 437.
De la Rue 534.
De la Rue 260, 273, 284, 289, 410, 424, 480, 1018.
Delaunay 308, 803, 827.
Dell 1019.
Dembowski 703.
De Morgan 958.
Denning 324, 411, 413, 494.
Dent 904, 926.
Derham 323.
Descartes (Carteſius) 231, 845.
Deslandres 284, 667.
De Vico 324, 325, 544.
D'Elcano 62.
Doberck 675, 681, 686, 687, 703, 704.
Dörfel 527, 605.
Dollond, J. 883, 982.
Dollond, P. 884.
Donati 577, 578.
Doppler 264.
Dove 48.
Draper 250, 417.
Dreyer 727, 752, 753.
Dubiago 681.
Dufour 190, 195.
Duillier, Fatio de 203.
Dumochel 530.
Dunér 265, 648, 686, 699, 703, 708, 709, 721.
Dunkin 671.
Dunlop 747.

Eble 907.
Edlund 283.
Einmart 672.
Eiſenlohr 468.
Elkin 570, 642, 699.
Ellacott 570.
Ellery 587.
Encke 334, 364, 372, 401, 408, 422, 446, 534, 563, 680.
Engelhardt 727.
Engelmann 435, 494, 500, 501, 703.
Eratoſthenes 33, 867, 871.
Ericſon, H. 277.
Ermann, A. 618, 626.
Ertel 955.
Eſpin 708, 709.
Eſſelbach 249.
Eſtancel 559.
Eudox 120.
Euler, L. 199, 231, 692, 817, 822, 827, 832, 883, 884.
Exner, K. 195.

Fabricius, David 266, 708, 1018.
Fabricius, Johann (Phryſius) 266, 1018.
Fabry 622.
Falb 805.
Fallows 716.
Fargubar 717.
Faye 190, 262, 270, 542, 591.
Fearnley 189.
Fellner und Helmer 1012.
Fenyi 287.
Ferguſon 369, 372.
Ferrari 270.
Feuillée 684.
Finlay 547, 570.
Fiſcher 972.
Fizeau 108, 110, 250.
Flammarion 263, 324, 347, 356, 501, 669.
Flamſteed 637, 653, 740, 870, 874, 926.
Flaugergues 630.
Fleming 178.
Förſter 371.
Fontana 327, 328, 344, 410.
Fontenelle 483.
Forbes 110, 293, 453.
Forſter 593.
Foucault 58, 110, 195, 250, 267, 890, 891, 966.
Fourrier 807, 808.
Franklin 846.
Fraunhofer 243, 648, 884, 886, 978, 982.
Fresnel 231.
Fritſch 301, 888.
Fritz 270, 273, 274.

Gaillot 305.
Galilei 106, 268, 276, 322, 327, 421, 478, 486, 493, 494, 637, 767, 882, 891.
Galle 340, 397, 423, 446, 625.
Galloway 1018.
Gambart 518, 536.
Gascoigne 893, 1018.
Gaſſendi 318, 422, 867.
Gasparis 368, 369.
Gaubil 71.
Gauß 361 ff., 407, 510, 823, 884, 1004.
Gauſſin 358, 503.
Gautier, A. 269, 270.
Gautier, J. 893.
Gautier, St. 289.
Gill 642, 687, 699.
Gilliß 716.
Gilman 303.
Girard 885.
Glaiſher 31, 720.
Glaſenapp 681, 704.
Gledhill 411.
Godfrey 894.
Goldſchmidt, H. 368, 370, 585, 723, 1018.
Goldſchmidt, E. W. B. 190, 543.
Goneſſiat 338.
Goodrike 709 ff.
Gore 645, 681, 684, 704, 709, 710.

Gotthard, E. v. 576, 738.
Gottignies 559.
Gould 303, 365, 565, 566, 570, 633, 653, 661, 708, 712, 749.
Gouy 277, 576.
Graham A. 367.
Graham, G. 874.
Green 336.
Green, N. E. 347.
Greg 625.
Gregory 331, 888.
Grubb, H. 884, 886, 967.
Grubb, Th. 888, 890, 967.
Gruber 195.
Gruithuisen 481.
Guglielmini 46.
Gussew 468, 480.
Gyldén 724, 823, 829.

Haag 254.
Haase 303.
Hadley 422, 423, 894.
Härdtl, Freiherr v. 308, 409.
Haidinger 601.
Hale 284.
Hall, A. 308, 343, 420, 424, 429, 489, 506, 507, 535, 642, 687.
Hallaschka 254.
Halley 91, 280, 322, 331, 336, 408, 527, 664, 716, 726, 730, 747, 749, 801, 829, 836, 991.
Haly 723.
Hansen 308, 340, 467, 803, 827, 829, 967.
Hansteen 271, 807.
Harding 362, 424, 428, 499, 709, 710, 747.
Harold, Jakoby 689.
Harrington 399.
Harriot 266, 527.
Harrison 468.
Harrison, J. 926.
Hartmann 180.
Hartmann und Braun 911.
Hartwig 574, 707, 708.
Hasselberg 577.
Heinsius 533.
Heis 203, 363, 609, 630, 633, 652.
Hell 334, 336.
Helmholtz 297, 803.
Hencke 364, 705, 709, 710, 721, 1018.
Henderson 103, 642.
Henrick 302, 536.
Henry 279.
Henry, Paul und Prosper 375, 376, 377, 380, 392, 662, 751, 886.
Hepperger, J. v. 575.
Heraklides 137, 138.
Herrmann und Pfister 918.
Herrick 609, 611, 624, 627.
Herschel, A. 201, 607, 612, 625.
Herschel, J. 245, 250, 267, 365, 430, 447 ff., 463, 468, 504, 506, 507, 633, 657, 661, 674 ff., 680, 682 ff., 703, 708, 716, 717, 719, 722, 727, 743, 744, 747 ff., 752, 753, 808, 889, 891, 1018.
Herschel, Caroline 534, 731, 1018.
Herschel, W. 268, 277, 279, 289, 292, 344, 345, 350, 356, 362, 397, 419 ff., 424, 428, 433 ff., 488, 499, 504, 506, 515, 657 ff., 663, 668, 670, 672, 675 ff., 682 ff., 702, 709, 722, 726, 729, 734, 742, 743, 747, 752 ff., 888, 889, 1018.
Hertz 925.
Hevel 262, 327, 410, 422, 478, 527, 533, 539, 652, 702, 712, 717, 721, 870, 892, 1006, 1018.
Hi und Ho 123.
Hill 408, 578.
Hind 302, 364, 368, 369, 371, 373, 524, 538, 549, 566, 587, 687, 703, 705, 708 ff., 713, 720, 752.
Hipparch 116, 120, 332, 652, 664, 728, 871.
Hirn 429.
Hogdson 272, 276.
Hodierna 422.
Holaku-Hekukan 124, 125.
Holden 424, 501, 507, 743, 744, 746.
Holmes 553.
Holwarda 712.
Homer 117, 320, 490, 596.
Hooke 46, 58, 344, 411, 533, 637, 765, 774, 880.
Hornsby 334.
Hornstein 274, 372, 403, 621.
Horrebow 255, 327, 328.
Horrox 331, 1018.
Hortensius 893.
Hough 414, 751.
Houzeau 435, 633, 652.
Hubbard 538, 562.
Huggins 249, 283, 284, 324, 344, 435, 646, 648, 666, 718, 756, 1018.
Humboldt A. v. 91, 201, 598, 613.
Hussey 438.
Hutton 810, 846.
Huyghens 231, 266, 344, 355, 422, 504, 633, 746, 765, 769, 875, 910, 926, 1004

Ibn, Junis 72, 125.
Ihle 730.
Jakob 422, 687, 716.
Jahn 598.
James 510.
Jansen, Z. 876.
Janssen 282, 284, 355, 465
Jayasinha 918.
Jones 203.
Johnson, M. J. 468, 653.
Jolly 811.
Joule 233.
Jurin 200.

Kämtz 195.
Kaiser 344, 347, 435.
Kant 803, 852, 853.
Kapteyn 642.
Kater 422.
Kayser 517.
Keeler 420, 423, 428, 435, 750, 752.
Kempf 671.
Kendall 560.
Kepler 143, 147, 150, 151, 194, 253, 267, 318, 330, 332, 342, 358, 486, 527, 764, 816, 882.
Kirch, Ch. 323.
Kirch, G. 672, 709, 730, 753.
Kirchhoff 246, 290, 648.
Kirkwood 273, 302, 402, 403.
Klein 270, 482, 636, 673.
Kleomedes 195.
Klingenstierna 883.
Klinkerfues 566, 631, 680, 711.
Klügel 670, 884.
Klumpke, Miß 429.
Knorre, V. 379.
Knott 709.
Kobold 671.
Koch 708.
Köppen 269.
Konkoly, Nic. v. 608, 985.
Kopernicus 80, 138, 312, 764.
Koschu-King 72, 124, 867.
Kowalewski, Madame 429.
Kowalsky 680.
Kreutz 380, 554.
Krüger 409, 654, 684, 708.
Kühnert 124.
Kummer 416.
Kung 375.

Lacaille 278, 911.
Lacaille, N., 333, 653, 716, 726, 747, 749.

Lagrange 822, 830, 836, 855.
Lahire 34.
Lalande 334, 360, 453, 499, 653, 669.
Lambert 91, 327, 358, 633, 702, 830, 908.
Lamont 397, 653, 744.
Lamp, E. 549.
Landerer 324.
Landsberg 331.
Langberg 274.
Langley 199, 250, 254, 274, 277 ff., 291 ff., 316, 463.
Laplace 121, 360, 428, 550, 802, 814, 817, 822, 827, 829 ff., 836, 849 ff., 855, 856, 1004.
Laſſel 423, 448, 451, 504, 506, 507, 727, 738, 742, 752, 888, 889, 967, 1018.
Laugier 524, 560.
Laurent 371.
Legendre 692.
Legentil 730, 746.
Leibnitz 845, 1004.
Lemonnier 665, 867.
Leonardo da Vinci 460.
Le Roy 999.
Lescarbault 300.
Leſſer 371.
Letronne 122.
Leuſchner 681.
Le Verrier 298, 303, 340, 398, 400, 401, 408, 441 ff., 523, 543, 550, 629, 829, 840, 858.
Lewis 681, 686.
Lexell 334, 550.
Liais 203, 277, 300, 539.
Liandrier 195.
Lichtenberg 434.
Liebherr 965.
Lindauer 710.
Linſſer 344.
Lippersheim 876.
Littrow, J. J. v., 884.
Littrow, K. v., 201, 281, 334, 362, 371, 404, 614, 616, 626, 656, 1012.
Liznar 271, 275.
Lloyd 271.
Lockyer 122, 284, 347, 648.
Löſchardt 326.
Löwy 260, 273, 289.
Löwy, M. 970.
Lohrmann 478.
Lohſe 412, 576.
Lohſe, O. 284.
Longomontan 527.
Lowe 302.
Lubienicius 525.
Lucian v. Samoſate 356.
Lullus 998.
Lummis 302, 306.
Lundahl 670.
Luther, R. 365, 368, 370, 372, 373, 384, 402.
Lymann 323.
Lynn 723.

Mackay 716.
Maclear 642, 716.
Mc. Farland 840.
Maclaurin 817.
Madan 490.
Mädler 348, 397, 435, 468, 473, 475, 476, 482, 488, 665, 668, 671, 684, 687, 699.
Mädler u. Beer 324, 344, 347, 478.
Mäſtlin 460, 527.
Magellan 62.
Maimonides 458.
Malebranche 199.
Mallet 570.
Manlius 867.
Mann 687.
Marchand 338.
Maraldi 280, 333, 344 ff., 499, 709, 712, 731.
Marco Polo 458.
Marié-Davy 464.
Marius, S. 745.
Marth 344, 566, 727.
Martins 886, 891.
Marx 885.
Mascart 249.
Maskelyne 688, 810, 891.
Matthieſſen 467.
Maſon, Ch. 33, 331.
Maupertuis (Malapertus) 34, 289.
Maury 370, 537, 538.
Mauvais 450, 560.
Maxwell 429.
Mayer 411.
Mayer, Chr. 674, 686, 688, 702.
Mayer, J. R. 233, 296, 803.
Mayer, T. 478, 653, 665, 683, 685, 827.
Méchain 34, 534.
Meldrum 269.
Mendenhall 810.
Mercator 997.
Merz 884, 886.
Meſſier 529, 549, 726, 730, 742, 743.
Metius 876.
Meyer, W. 424, 567.
Michell, J. 668, 672, 702.
Michelſon 110, 500.
Miller 648.
Milloſevich 435, 570.
Mitchell 674.
Möller 409.
Moeſta 642.
Moivre 1004.
Molyneux, S. 104.
Molyneux, W. 498.
Montaigne 327.
Montanari 605, 708, 712, 717.
Montigny 195.
Morin 893.
Moro Lazzaro 846.
Morſtadt 536.
Mouchez 654.
Mouton 34.
Müller, P. A. 275.
Müller, G. 322, 398, 417, 429.
Münter 719.
Murmann 586.

Nasmyth 317, 468.
Naſſirreddin 125.
Nervander 273.
Neumayer 612.
Newall 1017.
Newcomb 110, 303, 309, 341, 401, 404, 409, 468, 505, 506, 507, 804, 827, 829.
Newton, H. A. 404, 521, 607, 609, 612, 616, 624, 627 ff., 632.
Newton, Iſaac 45, 58, 126, 231, 295, 343, 407, 462, 527, 766 ff., 816, 832, 883, 888, 895.
Nieſſl 623.
Nieſten 326.
Nikolai 408, 439, 543, 558.
Nonius 987.
Norwood 777.
Nunnez ſ. Nonius.

Oeltzen 302, 712.
Ohrt 305.
Olbers 361 ff., 401, 428, 439, 512, 513, 534, 614, 627, 903, 1018.
Olmsted 613, 619, 627.
Omar-Cheiam 125.
Oppolzer, Egon v. 290.
Oppolzer, Th. v. 305, 374.
Oriani 359.
Oudemans 667, 708.

Pacinotti 533.
Packer 753.
Paliſa, J. 370, 375, 377 ff. 386, 391, 554.
Palitzſch 529, 712, 1018.
Pallas 605, 846.
Palmer 613.

Pape 370, 583, 589.
Paravey 122.
Pascal 1004.
Paschen 647.
Paul 708.
Peirce 429, 451, 675.
Penrose 123.
Perrey 805.
Perrotin 326, 349, 353, 378, 434.
Peters, C. A. F. 697.
Peters, C. F. W. 688.
Peters, C. H. F. 201, 258, 259, 262, 305, 370, 372 ff., 377 ff., 382, 384, 399, 572, 705, 708, 709, 716, 717.
Petersen 450.
Philolaos 138.
Phranza 518.
Piazzi 359, 638, 653, 868.
Piazzi-Smyth 122.
Picard 34, 114, 413, 423, 773, 893.
Pickering, E. C. 276, 343, 491, 500, 504, 506 ff., 633, 648, 676, 700, 702, 705, 709, 713, 714, 718, 723, 724, 753.
Pickering W. 501.
Pigott 709, 724.
Pingré 334, 534.
Pistor u. Martins 934, 950, 955.
Planmann 331, 334.
Plantade 280.
Plantamour 537.
Plateau 850.
Plato 120, 138.
Playfair 810.
Plinius 199, 332, 593.
Plössel 884, 885, 906, 959.
Plummer 587, 698, 711.
Pogson 369, 373, 631, 705, 708 ff., 718.
Poinsinet de Sivry 61.
Poisson 808, 855.
Pons 534.
Pontécoulant 529, 530.
Poor 550.
Popowitsch 1006.
Porter 671.
Posidonius 332.
Pouillet 292, 808.
Pound 407, 413, 685, 687.
Powell 716.
Poynting 811.
Prazmowsky 283.
Preston 810.
Prevost 670.
Pritchard 633, 642, 643.
Proctor 344, 347, 668.
Ptolemaeus 120, 135, 332, 635, 652, 726, 825, 868, 871.
Purbach 986.
Pythagoras 320, 332.
Pytheas 72.

Quetelet 614.

Radau 302, 855.
Ramsay 647.
Ramsden 875, 884, 949.
Rancken 671.
Ranyard 412.
Raschig 254.
Reed 719.
Reggio 867.
Regiomontan 874, 986.
Reich 46, 811.
Reichenbach 943, 953, 966.
Reimann 200.
Repsold 950, 951, 955, 966, 982.
Respighi 195, 288.
Ressel 911.
Riccioli 323, 327, 332, 478, 637, 672.
Ricco 572, 576.
Richer 58.
Ristenpart 671.
Roberts, W. 388, 392, 453, 681, 745, 751.
Roberval 910.
Roche 591.
Römer 107, 354, 638, 933, 942.
Rogers 885.
Rogerson 720.
Rosa 272, 533.
Rosenberger 529.
Roß, J. C. 604, 615.
Rosse, Earl of 463, 727, 736 ff., 742 ff., 888, 890, 1018.
Rothschild, Albert Freiherr v. 1016.
Rowley 637.
Rümker, C. 635, 653, 747.
Rümker, G. 727.
Runge 647.
Russel, H. C. 749.
Rutherford 643.

Sabine 270.
Sämann 807.
Safarik 708, 712.
Safford 372, 668, 697.
Saigey 802.
Santini 536.
Sargon 123.
Savary 680.
Savélief 278.
Savery 981.
Sawyer 708, 709.
Sayce 121.
Schäberle 346, 475, 501, 502, 507.
Scheerer 599.
Scheibner 308.
Scheiner, Chr. 258, 262, 267, 276, 478.
Scheiner, J. 317, 651, 734.
Scheuten 301.
Schiaparelli 310, 314, 324 ff., 344, 347 ff., 355, 356, 424, 434, 435, 491, 511, 534, 573, 591, 598, 601, 611, 612, 617 ff., 644, 703, 843.
Schickard 893.
Schiller 327.
Schirläus de Rheita 478, 878.
Schjellerup 533, 719.
Schlegel 124.
Schlüter 703.
Schmidt, A. 414, 415, 416.
Schmidt, J. F 198, 254, 344, 347, 373, 428, 458, 473 ff., 478, 482, 533, 557, 572 ff., 597, 598, 602, 609, 610, 614, 636, 708 ff., 715, 717, 718, 720, 721.
Schneider 970.
Schönfeld 654, 708, 718, 720, 727, 752.
Schorr 681.
Schreibers 599, 605.
Schröter 262, 313, 317, 323 ff., 344, 347, 397, 428, 430, 478, 480, 481, 499, 515, 747, 1018.
Schubert 370, 699.
Schübler 468.
Schuler, W. 710.
Schulhof 521, 523, 547, 554.
Schultz, H. 727.
Schur 408, 681, 684.
Schuster 283.
Schwabe 252, 254, 255, 259, 424, 428, 475, 1018.
Schweizer 201.
Schwerd 633, 708.
Scott 301.
Seabroke 587.
Searle 554.
Secchi 255, 263, 269, 272, 276, 278, 284, 285, 288, 289, 292, 324, 347, 356, 369, 397, 435, 476, 501, 537, 648, 703, 737, 738.
See 636, 681, 684, 704.
Seeliger 309, 429, 435, 656, 680, 681, 683.
Seidel 198.
Sellmeier 273.
Seneca 514, 539, 593.

Serpieri 203.
Short 327, 413, 422.
Sidebotham 302.
Silberschlag 262, 846.
Simons 533.
Sisson 874.
Smith, R. 199.
Snellius 33, 777.
Sokoloff 686.
Solander 336.
Soret 249.
South, Sir. J. 355, 424, 683, 703.
Spée 287.
Spiessen, Freiherr v. 711.
Spitaler 727.
Spitta 501.
Spörer 258, 260, 262, 263, 288 ff.
Stampfer 313, 398.
Stanley, Stevons 270.
Stanley, Williams 419, 420.
Stanojèwitch 251.
Stark 301.
Stauß 392.
Steinheibel 301, 517.
Steinheil, K. 633, 645, 884, 891, 896, 905.
Stéphan 644, 727.
Sterneck, R. v. 57, 810.
Stewart 260, 273, 289.
Stewart, Balfour 270.
Stockwell 840.
Stoddard 421, 494.
Stone 646, 653, 668.
Stroobant 199, 328, 508.
Struve, H. v. 493, 506.
Struve, L. v. 671, 686, 699.
Struve, O. v. 413, 422, 423, 429, 435, 451, 543, 642, 670, 682 ff., 703, 747, 752.
Struve, W. v. 103, 422, 500, 641, 658, 661, 673 ff., 682 ff., 703, 717, 1008.
Stumpe 671.
Sueß 474, 475.
Sully 867.
Swift, E. 547.
Swift, L. 305, 533, 727.

Tacchini 275, 288.
Tarde 289.
Taylor 653.
Tebbut 570, 572, 584, 586.
Tempel 374, 375, 384, 727, 751, 752.
Tennant 284.
Terby 324, 326, 347, 349, 411, 505.
Thalén 247.
Thevenot 514, 930.
Thiele 680, 687.
Thollon 277, 287, 564, 576.
Thomé 571, 709.
Thomson 297, 808.
Thrän 622.
Thulis 534.
Tietjen 373.
Timocharis 120, 664.
Tisserand 308, 429, 430, 502, 505, 521, 713, 747, 823, 855.
Tissot 254.
Titius 358.
Torporley 527.
Toscanelli 867.
Triesnecker 408.
Troughton 949.
Troughton und Simms 952, 953.
Trouvelot 324, 326, 412, 490.
Tschu-Kong 72, 124.
Tschu-Tschong 124.
Tuttle 533, 753.
Twinnig 627.
Tycho de Brahe 45, 132, 332, 527, 637, 652, 710, 826, 870, 871, 874, 902.

Ulugh-Beigh 72, 125, 652, 867, 869.

Valerio Lucca 276.
Valz 364, 368, 371, 511.
Vernier 987.
Villarceau 970.
Violle 292, 293.
Visconti 122.
Vogel, E. 201.
Vogel, H. C. 277, 317, 324, 355, 363, 408, 414, 420, 435, 452, 507, 517, 576, 577, 647, 648, 651, 666, 700, 701, 712, 714, 715, 721, 752,

Wackerbarth 451.
Walker 450, 560.
Wallis 637, 766.
Walther 874.
Wargentin 328.
Watson J. 305, 323, 373 ff.
Webb 222, 534, 673.
Weber 303, 636.
Weigand 959.
Weineck 480.
Weiß, Adolf 255.
Weiß, Edmund (Herausgeber) 254, 371, 373, 375, 377, 399, 523, 548, 565, 567, 587, 607, 616, 619, 620, 624, 630, 644, 671, 709.
Wendelin 539.
Wenthworth, Erk. 490.
Whiston 499, 845.
Wichmann 537.
Widmanstätten 605.
Wilcocks 320.
Wilhelm IV. 874
Williams 708.
Wilsing 276, 689, 811.
Wilson 392.
Wilson, A. 289.
Wilson W. 279, 587, 687.
Winlock 952.
Winnecke 317, 340, 341, 583, 708, 709, 715, 747, 752, 753.
Wislicenus 326, 344.
Wolf, Chr. 358.
Wolf, Max 388, 390 ff., 711.
Wolf, Rud. 256, 269, 270, 272, 273, 344, 365, 609, 610.
Wollaston 243, 291.
Wray 301.
Wren 34.
Wright, A. W. 203, 592.
Wurm 358, 712, 715.

Yau 123.
Young 110.
Young, C. A. 283, 286, 287, 289, 434, 435, 517, 564.
Young, Th. 231.

Zach 358.
Zelbr 575.
Zöllner 284, 290, 317, 343, 398, 409, 424, 433, 452, 491, 591, 633, 676, 724.
Zucchi 344.

Druck von G. Bernstein in Berlin.

Druckfehler-Verzeichnis.

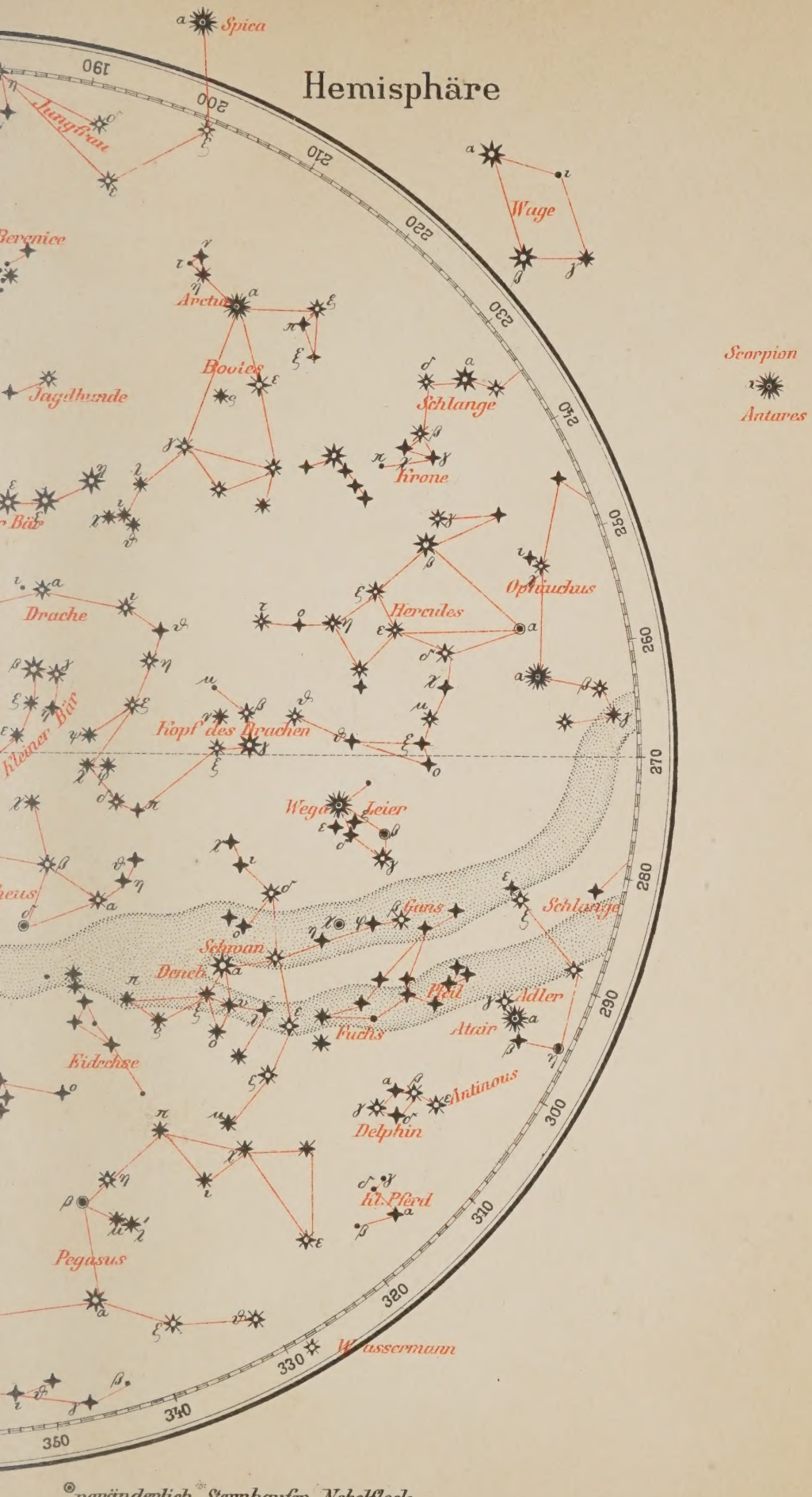
S. 11 Z. 10 v. o. statt ANQN lies ANQN′.
= 123 = 3 v. u. = Bonbuche lies Bambusbuche.
= 126 = 19 v. o. = Eklipktik lies Ellipse.
= 255 = 18 v. o. = Daves lies Dawes.
= 287 = 4 v. u. der letzte Satz, von: Neuere Untersuchungen an, wegzulassen.
= 308 = 11 v. o. statt Delauny lies Delaunay.
= 344 = 12 v. u. = Kayser lies Kaiser.
= 365 = 11 v. o. = Laucothea lies Leucothea.
= 365 = 1 v. u. = Opparia lies Oppavia.
= 367 = 17 v. u. = Alala lies Atala.
= 369 = 5 v. u. = (37) lies (35).
= 376 = 15 v. o. das Wort: halben, wegzulassen.
= 379 = 14 v. o. nach: Umständen einzuschalten: auf 5 Jahre.
= 390 = 3 v. u. statt angenommen lies vorgenommen.
= 507 = 17 v. u. = Lodovicea lies Ludovicea.
= 536 = 19 v. u. das Wort: schon wegzulassen, und statt früher, zu lesen später.
= 636 = 20 v. u. statt Rahmah lies Rahman.
= 656 = 15 v. o. = Selinger lies Seeliger.
= 666 = 14 v. o. = 1·27 lies 2·27.
= 777 = 13 v. o. = Noswood lies Norwood.
= 808 = 11 v. u. = Poison lies Poisson.
= 826 = 8 v. o. = Aubul lies Abul.
= 1058 bei Nr. 183 statt 5·99240 lies 0·99240.
= 1059 = = 138 = Giuzel lies Ginzel.
= 1064 Z. 5 v. u. statt 1884 I lies 1884 I †.
= 1068 = 1 v. o. = 1643 lies 1843.

Nördliche

Druck d. geogr.-lith. Anst.

TAFEL I.

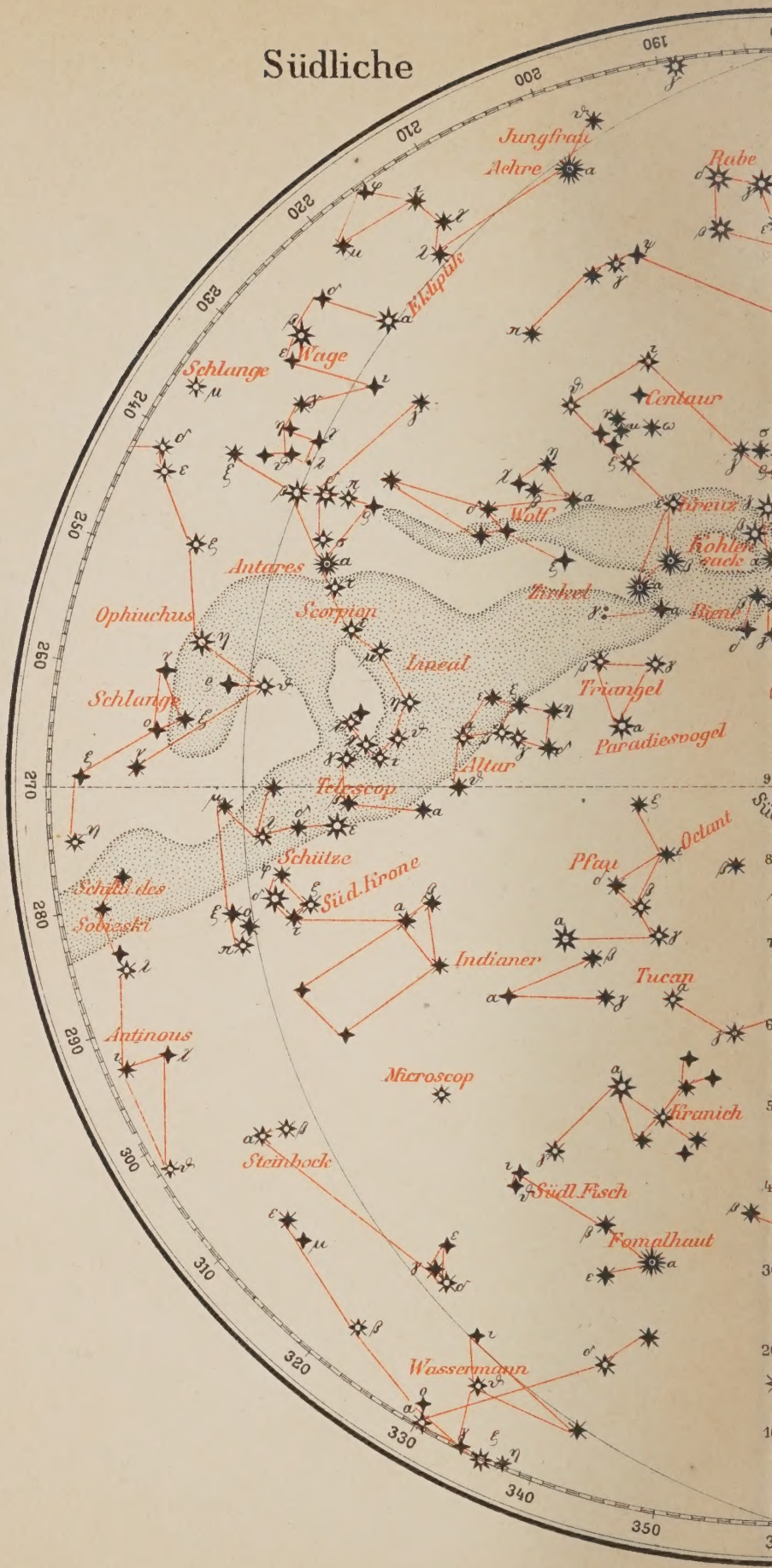
Hemisphäre



veränderlich Sternhaufen Nebelfleck

r, Berlin S.

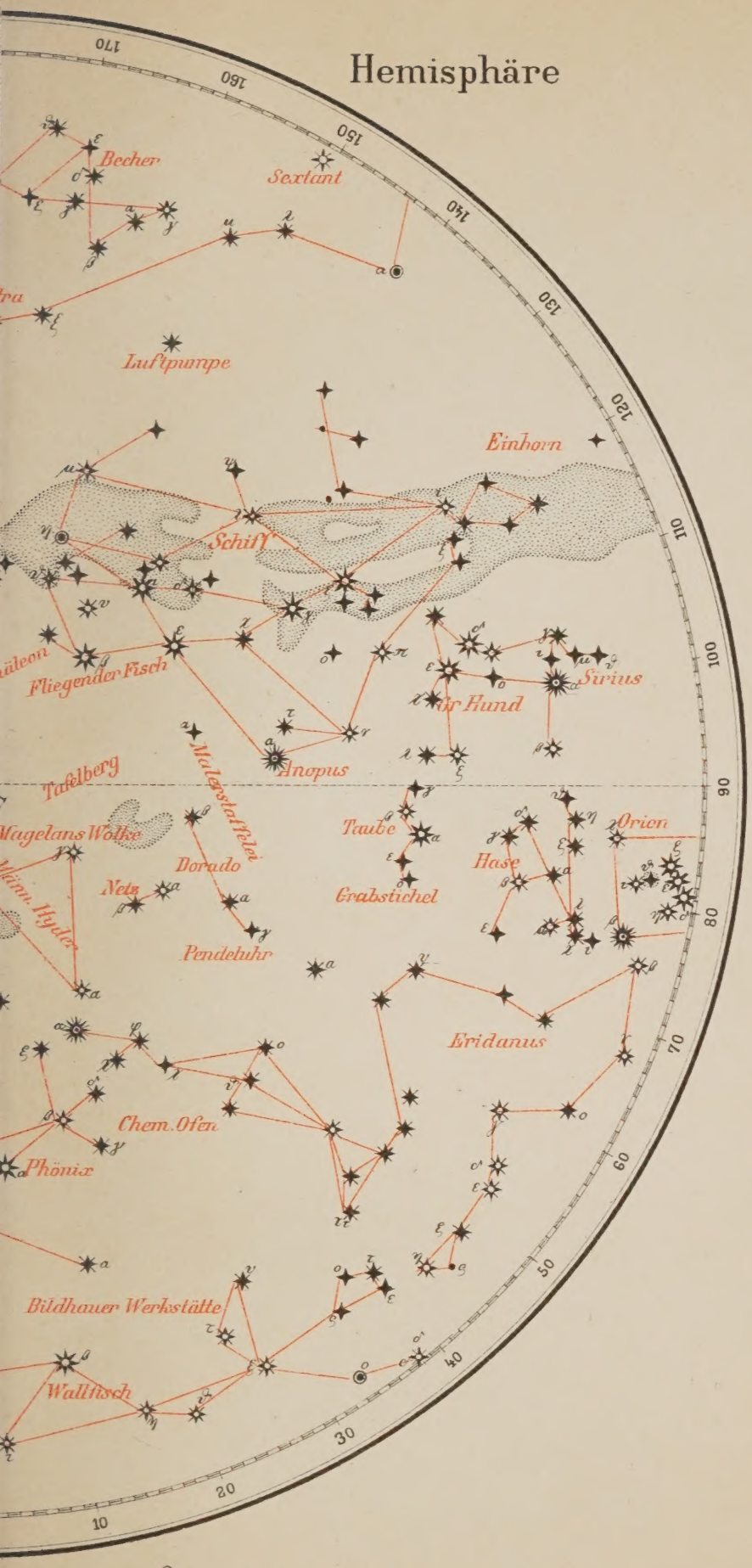
Südliche



Druck d. geogr.-lith.

TAFEL II.

Hemisphäre



◉ veränderlich Nebelfleck

C.L. Keller, Berlin S.

Fig. 1.

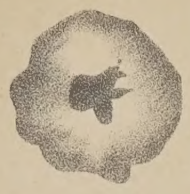
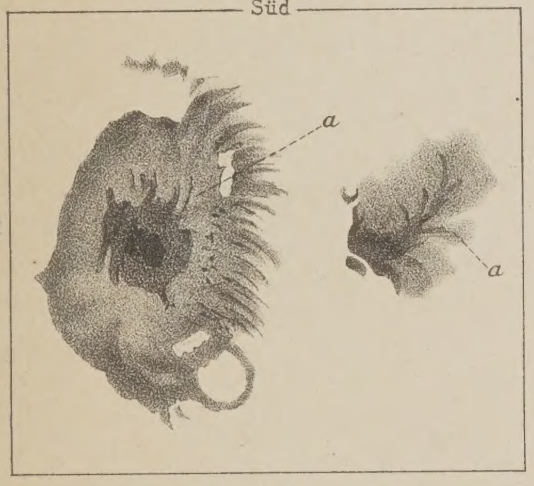


Fig. 2.

Fig. 3.

1857.
Mai 6. 11 h ½

Fig. 4.

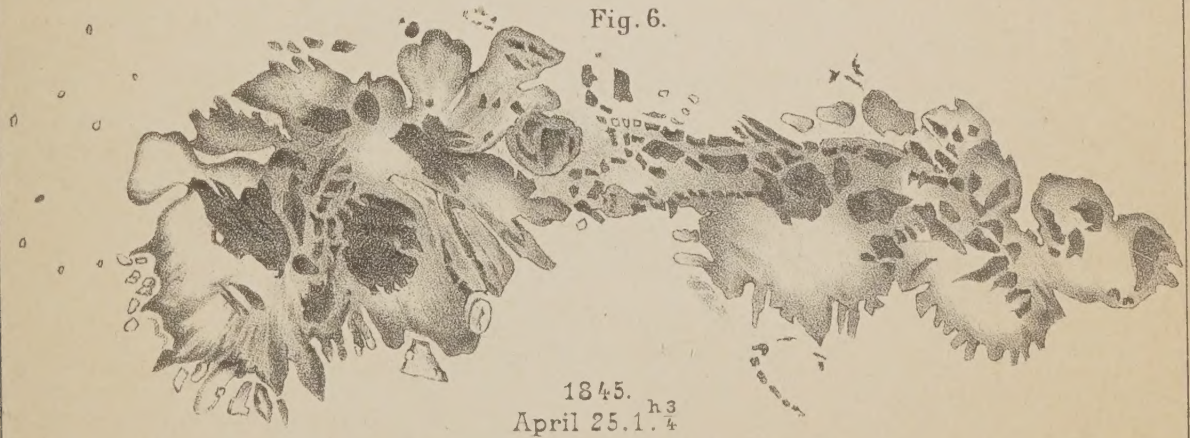


1863.
April 14. 11 h

Fig. 5.

Nord.
1863.
April 15. 3 h

Fig. 6.



1845.
April 25. 1 h ¾

Graphisches Institut Julius Klinkhardt Leipzig

Protuberanzen der Sonne.

Tafel IV.

Fig. 1.

Fig. 2.

Graphisches Institut Julius Klinkhardt Leipzig

Fig. 1.

Fig. 2.

Graphisches Institut Julius Klinkhardt Leipzig

1 Boussingault
2 Curtius
3 Pontécoulant
4 Nearch
5 Rosenberger
6 Vlacq
7 Hommel
8 Pitiscus
9 Baco
10 Jacobi
11 Zach
12 Lilius
13 Vega
14 Steinheil
15 Fabricius
16 Metius
17 Nicolai
18 Maurolycus
19 Cuvier
20 Licetus
21 Stöfler
22 Nasireddin
23 Furnerius
24 Stevin
25 Rheita
26 Neander
27 Stiborius
28 Riccius

29 Rabbi Levi
30 Zagut
31 Lindenau
32 Büsching
33 Buch
34 GemmaFrisius
35 Poisson
36 Aliacensis
37 W. Humboldt
38 Petavius
39 Snellius
40 Borda
41 Santbech
42 Fracastor
43 Piccolomini
44 Polybius
45 Fermat
46 Sacrobosco
47 Pontanus
48 Azophi
49 Abenezra
50 Apian
51 Playfair
52 Werner
53 Ansgarius
54 Vendelin
55 Colombo
56 Magelhaens

57 Beaumont
58 Theophil
59 Cyrill
60 Katharina
61 Kant
62 Tacitus
63 Almamon
64 Geber
65 Abulfeda
66 Albategnius
67 Parrot
68 Maclaurin
69 Langren
70 Messier

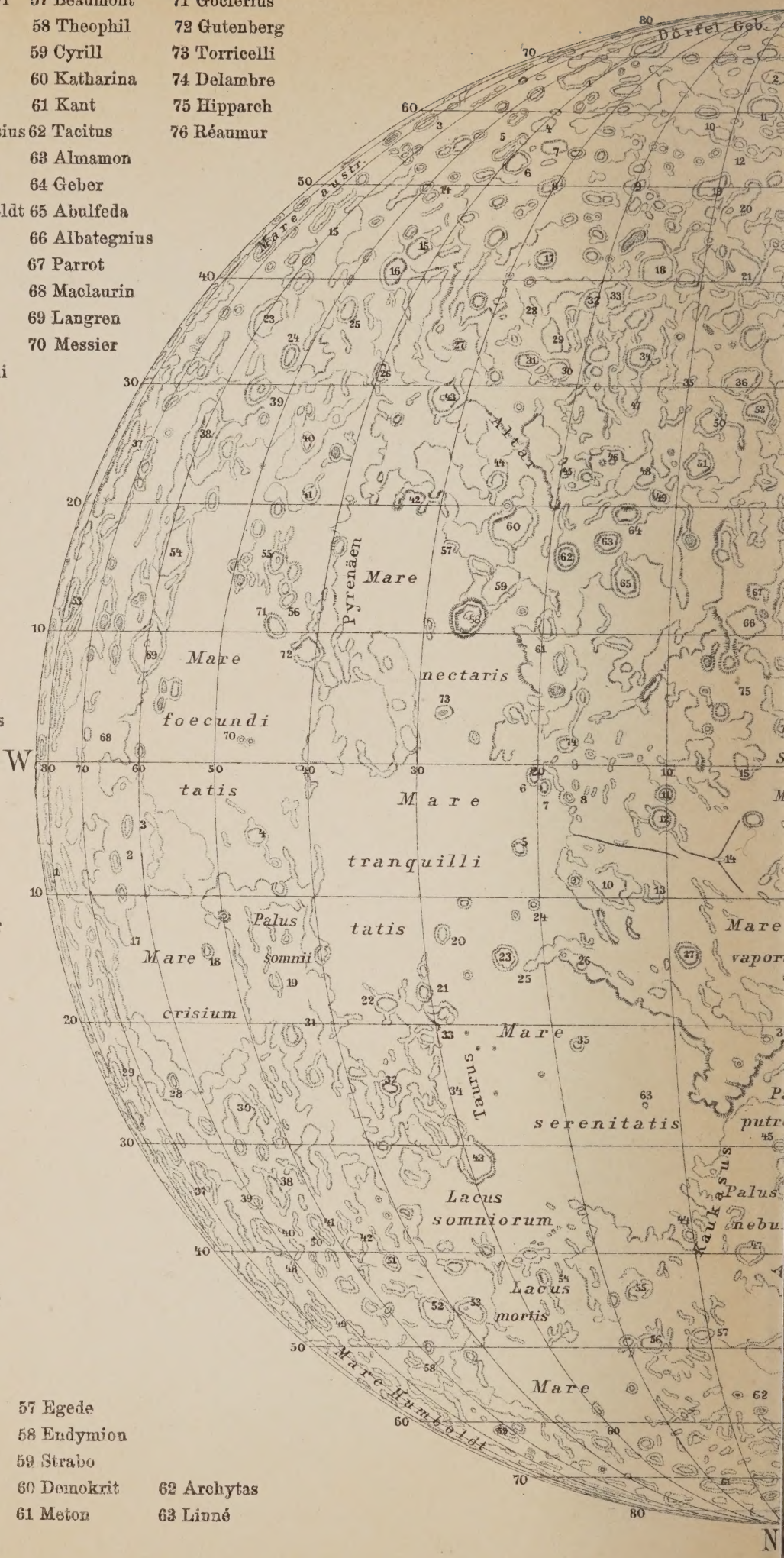
71 Goclerius
72 Gutenberg
73 Torricelli
74 Delambre
75 Hipparch
76 Réaumur

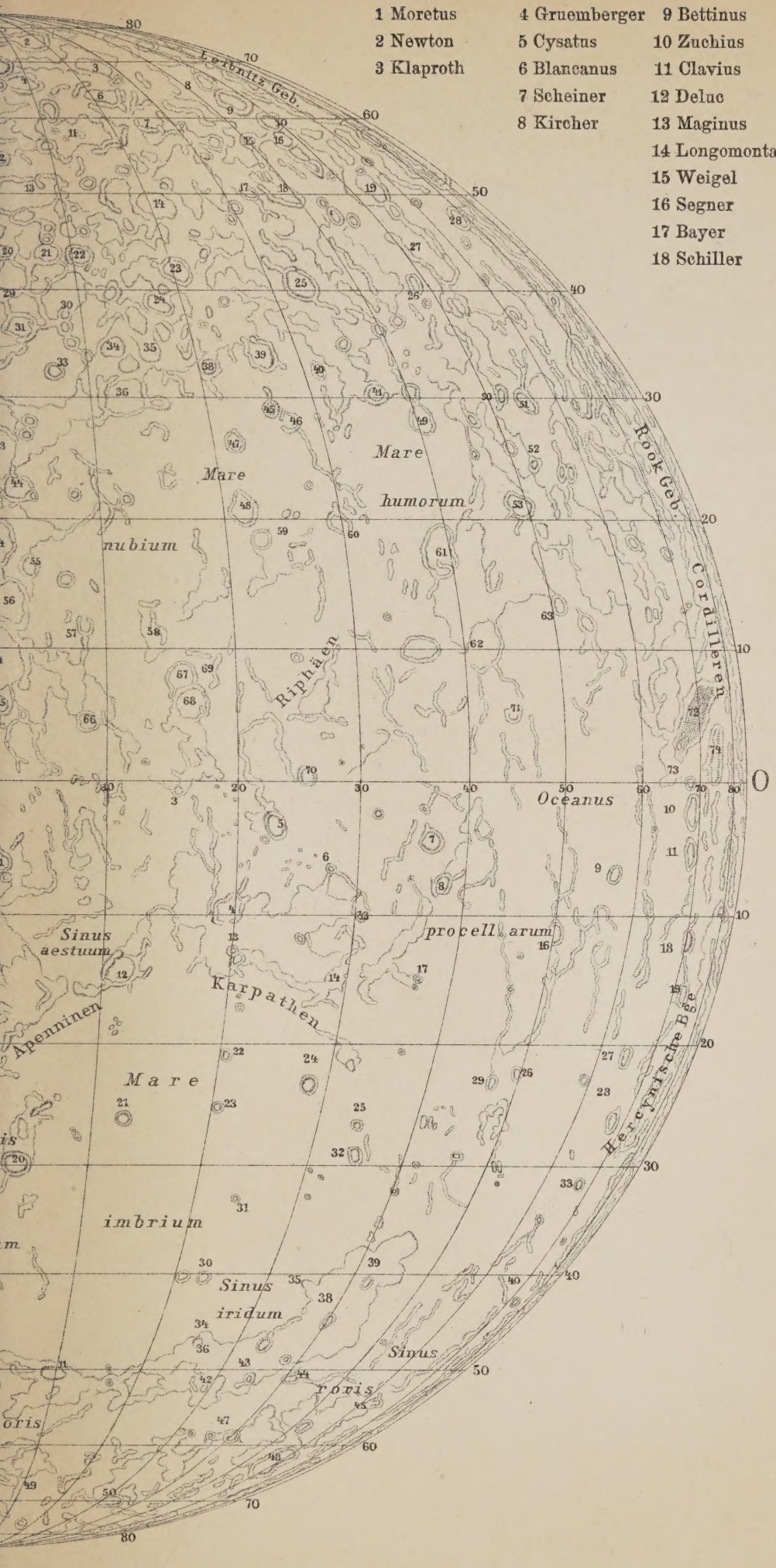
1 Neper
2 Firmicus
3 Appollonius
4 Taruntius
5 Arago
6 Sabine
7 Ritter
8 Dionys
9 Sosigenes
10 J. Caesar
11 Godin
12 Agrippa
13 Boscovich
14 Hyginus
15 Rhaeticus
16 Triesnecker
17 Agarum Kap
18 Picard
19 Proclus
20 Jansen
21 Vitruv
22 Maraldi
23 Plinius
24 Ross
25 Acherusia Kap
26 Menelaus
27 Manilius
28 Eimmart

29 Plutarch
30 Cleomades
31 Macrobius
32 Römer
33 Littrow
34 Le Monnier
35 Bessel
36 Conon
37 Gauss
38 Geminus
39 Bernoulli
40 Messala
41 Berzelius
42 Franklin
43 Posidonius
44 Calippus
45 Autolycus
46 Aristill
47 Cassini
48 Schumacher
49 Merkur
50 Hook
51 Cepheus
52 Atlas
53 Herkules
54 Bürg
55 Eudox
56 Aristoteles

57 Egede
58 Endymion
59 Strabo
60 Demokrit
61 Meton

62 Archytas
63 Linné





1 Moretus
2 Newton
3 Klaproth
4 Gruemberger
5 Cysatus
6 Blancanus
7 Scheiner
8 Kircher
9 Bettinus
10 Zuchius
11 Clavius
12 Delue
13 Maginus
14 Longomontan
15 Weigel
16 Segner
17 Bayer
18 Schiller
19 Phocylides
20 Saussure
21 Pictet
22 Tycho
23 Wilhem I.
24 Heinsius
25 Hainzel
26 Drebbel
27 Schikard
28 Inghirami
29 Orontius
30 Sasserides
31 Lexell
32 Walter
33 Hell
34 Gauricus
35 Wurzelbauer
36 Pitatus
37 Hesiod
38 Cichus
39 Capuanus
40 Ramsden
41 Vitello
42 Regiomontan
43 Purbach
44 Tebit
45 Mercator
46 Campanus
47 Kies
48 Bulliald
49 Doppelmayer
50 Fourier
51 Vieta
52 Cavendish
53 Mersenius
54 Arzachel
55 Alpetragius
56 Alphons
57 Davy
58 Guericke
59 Lubienitzky
60 Agatharchides
61 Gassendi
62 Letronne
63 Billy
64 Ptolemaeus
65 Herschel
66 Lalande
67 Parry
68 Fra Mauro
69 Bonpland
70 Landsberg
71 Flamsteed
72 Grimaldi
73 Lohrmann
74 Riccioli

1 Pallas
2 Bode
3 Gambart
4 Kopernicus
5 Reinhold
6 Hortensius
7 Encke
8 Keppler
9 Reiner
10 Hevel
11 Cavalerius
12 Eratosthenes
13 Gay Lussac
14 Tob. Mayer
15 Milichius
16 Marius
17 Bessarion
18 Cardanus
19 Krafft
20 Archimedes
21 Timocharis
22 Pytheas
23 Lambert
24 Euler
25 Diophant
26 Herodot
27 Seleucus
28 Briggs
29 Aristarch
30 Helicon
31 Carlini
32 Delisle
33 Lichtenberg
34 Laplace
35 Heraklides
36 Maupertuis
37 Bianchini
38 Sharp
39 Mairan
40 Harding
41 Plato
42 Condamine
43 Bouguer
44 Harpalus
45 Oenopides
46 Timaeus
47 Horrebow
48 Pythagoras
49 Anaxagoras
50 Philolaus

Graphisches Institut Julius Klinkhardt Leipzig

Graphisches Institut Julius Klinkhardt Leipzig

Beleuchtungsgrenze der Nordhalbkugel des Mondes im Ersten Viertel.

(Nach einer fünfzehnfach vergrösserten Photographie der Brüder Henry).

Graphisches Institut Julius Klinkhardt Leipzig

Komet Donati 1858 Oct. 2.

Graphisches Institut Julius Klinkhardt, Leipzig

Partie der Milchstrasse im Schwan.

(Nach einer Photographie der Brüder Henry.)

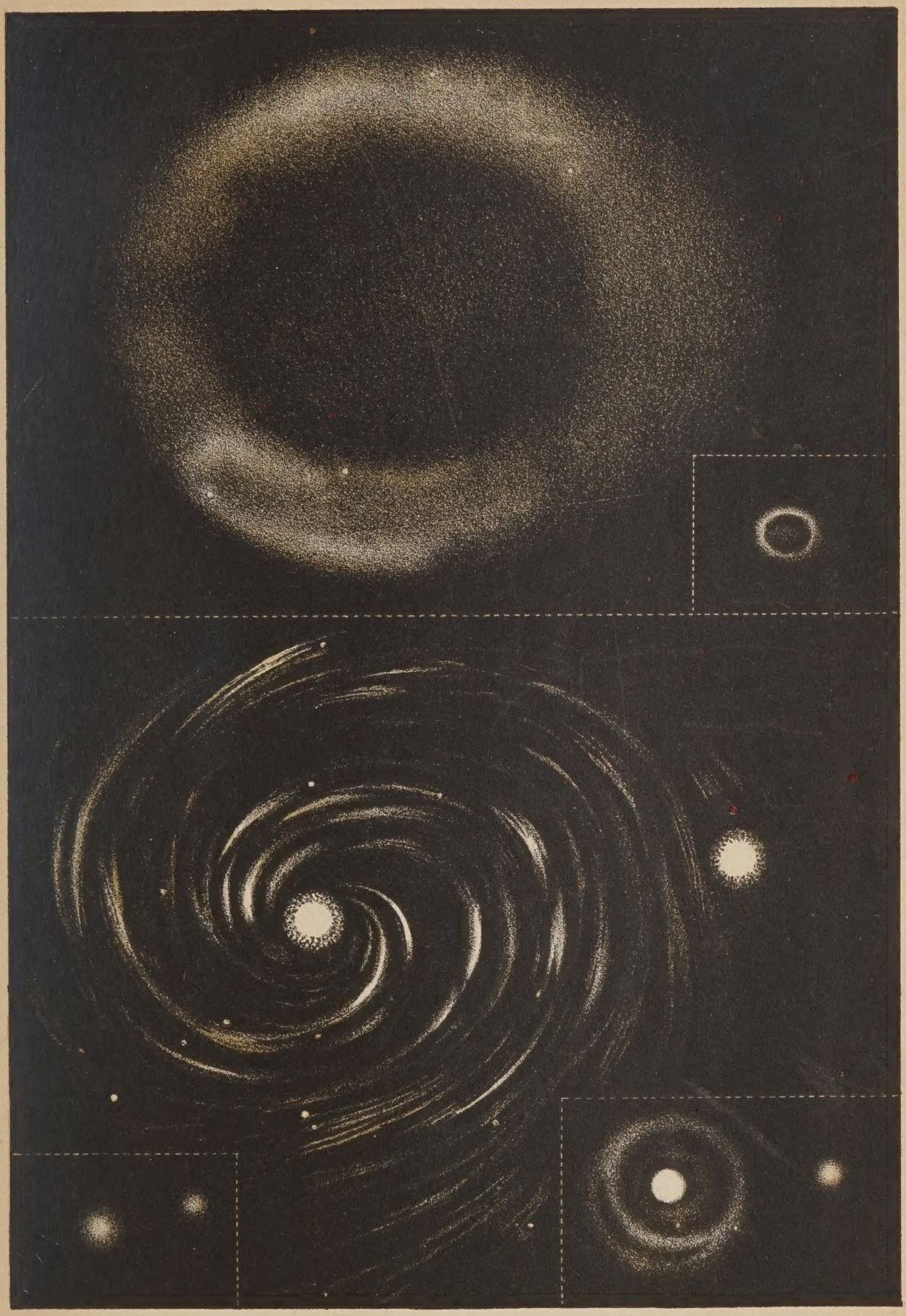
Graphisches Institut Julius Klinkhardt Leipzig

Andromeda-Nebel.

(Nach einer Photographie von Jsaac Roberts.)

Graphisches Institut Julius Klinkhardt Leipzig

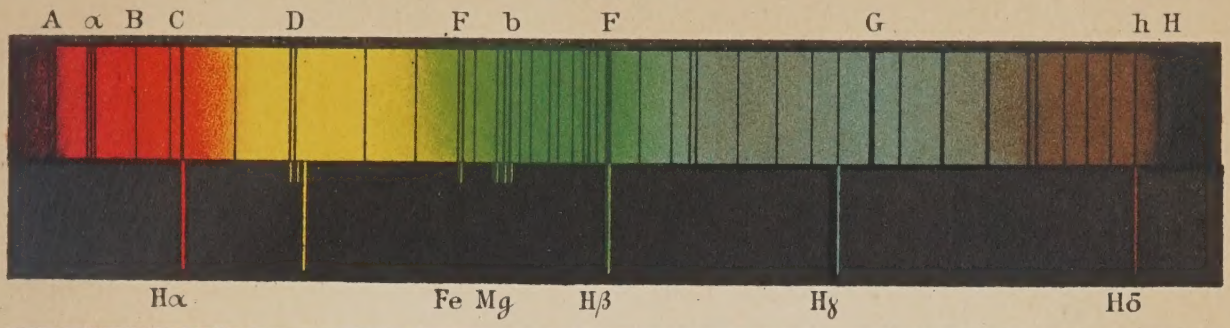
Orion-Nebel in einem starken Fernrohre.

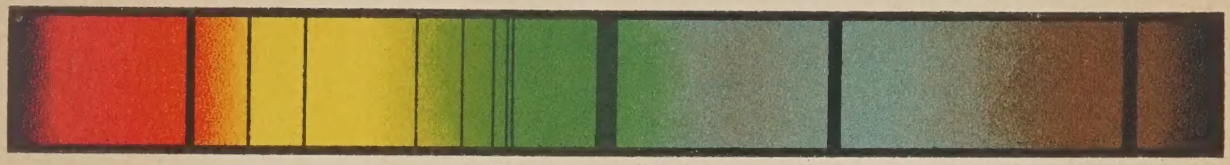


Graphisches Institut Julius Klinkhardt Leipzig

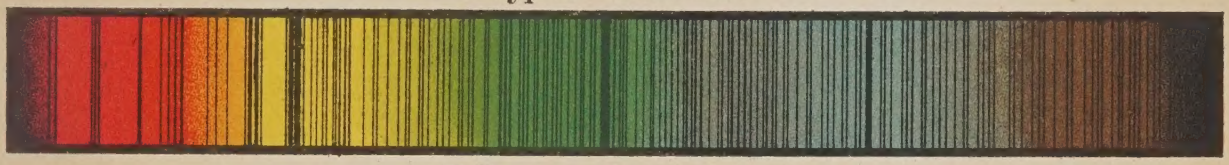
Ringnebel in der Leier.
Spiralnebel in den Jagdhunden.

SONNE.

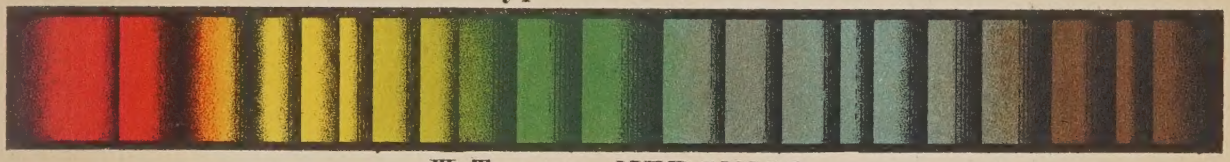




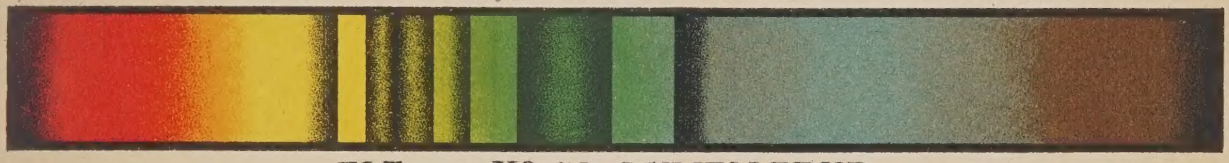
I. Typus SIRIUS.



II. Typus POLLUX.

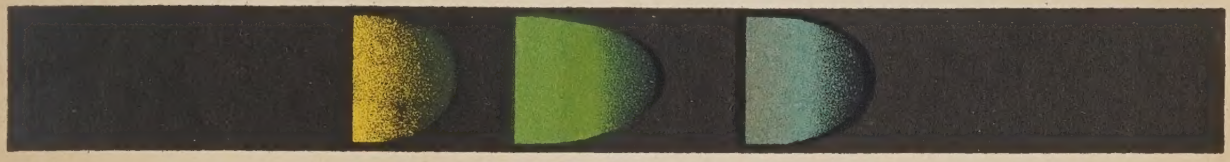


III. Typus: α HERSULIS.

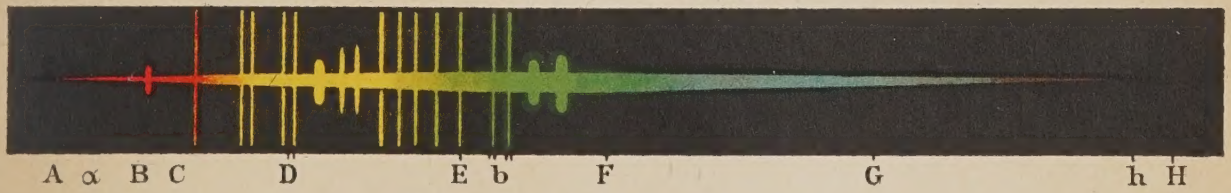


IV. Typus Nº 78 SCHJELLERUP.

NEBELFLECK.



KOMET ENCKE.



KOMET 1882 September 18.

Spectra der Fixsterne Nebelflecke u. Kometen.

Graphisches Institut Julius Klinkhardt Leipzig

LUDWIG EY
Buch- u. Kunsthandlung
Hannover
Georgstrasse 47

Astron.
L.
222095
Author Littrow, Joseph Johann von
Title Wunder des Himmels.
NAME OF BORROWER.

University of Toronto
Library

DO NOT
REMOVE
THE
CARD
FROM
THIS
POCKET

Acme Library Card Pocket
Under Pat. "Ref. Index File"
Made by LIBRARY BUREAU